Professor Dr. R. D. Desai

Uranium Jubliee Commemoration

Lecture Series–1993

Second Lecture

by

Prof Dr. P. C. Vaidya.

Ph.D.; F. A. Sc, F. N. A.

On 19-1-1994

AT

B. K. M. Science College,

VALSAD.

ક્વેસાર, પલ્સાર અને બ્લેક હોલ

૧. ક્વેસાર

ક્વેસાર (Quasar) એ રેડીઓ-ટેલિસ્કોપની પહેલી ભેટ છે. અવકાશના અનેક ભાગોમાંથી રેડીઓ મોજાંની લંબાઈનાં વિદ્યુત્‌ચુમ્બકીય તરંગો રેડીઓ ટેલિસ્કોપ ઉપર ઝીલાયા અને તે ઉપરથી એવો ખ્યાલ બંધાયો કે આ રેડીઓમોજાં આપણી આકાશ-ગંગા જેવી વિરાટ તારકનગરીઓમાંથી ઉદ્‌ભવતા હશે. આકાશમાંથી આવતા રેડીઓ તરંગોનાં ઉત્પત્તિસ્થાનોનું અવલોકન કરી તેની યાદી બનાવવાનું ભગીરથ કાર્ય કેમ્બ્રિજ યુનિવર્સિટીના વિશાળકાય રેડીઓ ટેલિસ્કોપ મારફતે થયુ અને આ રીતે તૈયાર થયેલી યાદીઓ ' કેમ્બ્રિજ યાદીઓ ' કહેવાઈ અને આ યાદીઓમાંની તેમની અનુક્રમ સંખ્યા ઉપરથી રેડીઓ તરંગોનાં ઉત્પત્તિ કેન્દ્ર (રેડીઓ સ્રોત : *Radio Sources*) ઓળખાવાં લાગ્યાં આવા એક રેડીઓ સ્રોત 3 C 273ના અવલોકન ઉપરથી રેડીઓ તરંગોનાં ઉત્પત્તિસ્થાનો) તારકનગરી જેવાં વિશાળ હોય છે એ માન્યતા ખોટી ઠરી. 3 C 273 એટલે કેમ્બ્રિજની ત્રીજી યાદીમાં 273મે નંબરે નોંધાયેલો રેડીઓ સ્રોત આ સ્રોતમાંથી રેડીઓ તરંગો આકાશના જે પ્રદેશમાંથી આવતાં હતાં તે પ્રદેશ ઉપરથી. ૧૯૬૨ની એપ્રિલની ૧૫ મી તારીખથી ઓક્ટોબરની ૨૬ મી સુધી ચંદ્ર ત્રણ વાર પસાર થવાનો હતો અને ઓસ્ટ્રેલિયાના સિડની-શહેર નજીક આવેલા ૨૧ ફુટ વ્યાસની રકાબી ધરાવતા વિશાળકાય રેડીઓ ટેલીસ્કોપ પરથી રેડીઓ સ્રોતનું ચંદ્ર વડે થતું પિધાન અવલોકવાની એક વ્યવસ્થિત યોજના તૈયાર થઈ. ચંદ્ર જ્યારે આ રેડીઓ તરંગ ઉત્પત્તિ-કેન્દ્ર આગળથી પસાર થાય ત્યારે આપણી અને રેડીઓ-સ્રોતની વચ્ચે ચંદ્ર આવે અને રેડીઓ મોજાં આપણને મળતા બંધ થઈ જાય. હવે જો આ રેડીઓસ્રોત આપણી આકાશગંગા જેવડા વિશાળ પ્રદેશમાં વિસ્તરેલો હોય તો પ્રમાણમાં નાનકડો ચંદ્ર આખા વિશાળ પ્રદેશને એકસાથે ઢાંકી શકે નહિ તેથી પિધાન દરમિયાન આપણ ને મળતાં રેડીઓ મોજા તદ્દન બંધ ન થાય પરંતુ તેની તીવ્રતા ઘટી જાય પરંતુ તેથી ઊલટું જો મોજાનું ઉત્પત્તિ કેન્દ્ર પથરાયેલું ન હોય પણ એક બિન્દુ જેવું કેન્દ્રિત હોય તો ચંદ્ર તે કેન્દ્ર અને આપણી વચ્ચે આવે કે તરતજ આપણને મળતાં રેડીઓ મોજાં બંધ થઈ જાય. રેડીઓ-ટેલી સ્કોપ કોઈ તરંગો નોંધે નહિ અને સમય જતાં ચંદ્ર ખસી જાય અને સ્ત્રોત ખુલ્લો થઈ જતાં તરત જ પાછાં રેડીઓ તરંગો રેડીઓ-ટેલીસ્કોપ ઉપર નોંધાવાં શરૂ થઈ જાય. આમ ચંદ્રના પિધાન ઉપરથી આપણે કહી શકીએ કે સ્રોત વિશાળક્ષેત્ર પર પથરાયેલો છે કે નાનકડા પ્રદેશમાં કેન્દ્રિત થયેલો છે.

૧૯૬૨ ના પિધાન ઉપરથી નક્કી થયું કે રેડીઓ સ્રોત્ર 3 C 273 કેન્દ્રિત સ્રોત છે. એકવાર આ નક્કી થયું પછી પિધાન સમયે ચંદ્રનું આકાશમાં સ્થાન તો આપણે નિશ્ચિતપણે જાણીએ છીએ તેથી આકાશમાં જે બિન્દુ નજીક આ રેડિઓસ્રોત આવેલો છે. તે પણ ચોકસાઈથી નક્કી થઈ શક્યું. એકવાર આકાશી સ્થાન નક્કી થયું એટલે માઉન્ટ પેલોમર વેધશાળાનું ૨૦૦ ઈંચ વ્યાસનું દર્પણ ધરાવતું વિશાળકાય પ્રકાશ-દૂરબીન તે સ્થાન તરફ ગોઠવવામાં આવ્યું, અને દુરબીનમાંથી જોતાં 3 C 273 ના સ્થાન પર ભૂરો પ્રકાશ આપતો એક તારક દેખાયો ! આમ આ રેડીઓસ્રોત તારક નગરી નથી પણ એક તારક જ છે એમ નકકી થયું.

એકવાર પ્રકાશ-ટેલિસ્કોપમાં આ રેડીઓ-સ્રોત ઝડપાયો એટલે પછી તેના પ્રકાશનું સ્પેકટ્રોસ્કોપની મદદથી વિશ્લેષણ કરી શકાયું આ વિશ્લેષણ ઉપરથી એટલું તો તરત જ દેખાયું કે અન્ય તારકોની જેમ આ સ્રોત-તારકમાં હાઇડ્રોજનનું અસ્તિત્વ નહિવત્ છે ! વળી તેના પ્રકાશનો વર્ણપટ લેતાં દેખાયુ કે વર્ણપટ સામાન્ય રીતે હોય છે તે કરતાં વર્ણપટના લાલ છેડા તરફ ઘણો બધો ખસેલો હતો. હવે વર્ણપટનું લાલ તરફ ખસવું (Red Shift) તે સ્રોતની આપણાથી દૂર ભાગવાની ગતિ દર્શાવે છે. આ ઉપરથી નક્કી થયુ કે આ સ્રોત 3 C 273 સેકન્ડના પચાસ હજાર કિલોમીટર ઝડપે આપણાથી દૂર ભાગે છે અને વિકસતા બ્રહ્માંડના વિકાસના ભાગ રૂપે સ્રોતની આ ગતિ સંભવે છે એમ માની લઇએ તો સ્રોતની જેમ આપણાથી દુર ભાગવા ગતિ વધુ તેમ તેનું આપણાથી અંતર વધુ આ હબલનો નિયમ વાપરતાં 3 C 273નું આપણાથી અંતર લગભગ દોઢ અબજ પ્રકાશવર્ષ થાય ! આ સ્રોતમાંથી નીકળતા જે રેડીઓમોજાં આપણા રેડીઓ ટેલીસ્કોપ ઉપર આજે ઝીલાય છે તે સ્રોતમાંથી તો 1,50 00,00,000 વર્ષ પહેલાં નીકળ્યાં હતાં ! આટલે બધે અન્તરેથી આટલી ઝડપથી ભાગતો આ સ્રોત આપણા સુધી તેની મોટી લંબાઈનાં રેડીઓમોજાં મોકલી શકે તો તેનું આ મોજાં ઉત્પન્ન કરતુ 'ટ્રાન્સમીટર' કેટલુ શકિતશાળી હશે ?

પછી તો કેમ્બ્રિજ કેટલોગમાં દર્શાવેલા કેટલાયે રેડીઓસ્રોતનાં આ રીતે સ્થાન નક્કી કરી શક્યાં અને આ બધા તારકનગરી નથી પણ આપણાથી ખૂબ દૂર આવેલા તારકો છે એમ નક્કી થયું. આટલે દુરથી રેડીઓ-તરંગો રૂપે શકિત ફેંકી શકતા આ 'તારકો' આપણી આકાશ-ગંગાના હાયડ્રોજન કે હિલિયમ બાળતા તારકો જેવા તો નથી જ અને છતા દુરબીનમાંથી જોતાં આકાશમાં તેજ-બિન્દુ જેવા દેખાય છે માટે તારા જેવા પણ છે. આ ઉપરથી ખૂબ તેજ અને શક્તિ ઉત્પન્ન કરતા નવા જ્યોતિપૂંજોને અર્ધતારક રેડીઓ ઊત્સર્જક' (Quasi stellar radio sources) કહેવાય છે. ટૂંકમાં તેને Quasar ક્વેસાર કહેવાનો રિવાજ પડી ગયો છે.*

ક્વેસાર વિષેના સુગણિતમ્‌માં અગાઉ આવી ગયેલ લેખને છેડે પ્રો. ગેમોએ રચેલી એક નાનકડી કવિતા આપી છે તે કવિતાને અને ક્વેસારનાં અવલોકના ઊપરથો પલ્સારનું કેવી રીતે અનાયાસે અવલોકન થયું તેનો થોડો સંબધ છે તેથી પ્રો. ગેમોની તે કવિતા અહીં ફરી યાદ કરીએ.

Twinkle twinkle quasi star
Biggest puzzle fromafar.
How unlike the otner ones
Brighter than a bilion Suns
Twinkle twinkle quasi star
How I wonder what you are !

ગ્રહો સ્થિર પ્રકાશ આપે છે પણ તારાઓનું તેજ ટમટમે છે તેને અંગ્રેજીમાં ટિવન્કલ (twinkle) કહે છે. જેમ સામાન્ય તારકનું તેજ ટમટમે છે તેમ આ ક્વેસારમાંથી આવતાં રેડીઓ-મોજાં પણ ટમટમે ખરા ? આ પ્રશ્ને નજર સમક્ષ રાખીને ૧૯૬૩ના નવેમ્બરમા કેમ્બ્રિજની એક વિદ્યાર્થીનીએ તેનુ પીએચ ડી. ડિગ્રી માટેનું સંશોધન શરૂ કર્યું જેને પરિણામે પલ્સારનો આવિષ્કાર થયો. એ વાત આવતા લેખાંક ઊપર મુલતવી રાખીએ.

* ૧૯૬૩મા કવેસારનુ અવલોકન થયું અને અવલોકન કરનાર ખગોળશાસ્ત્રીઓએ તેને કવેસાર નામ આપ્યું પણ ખગોળના વિખ્યાત સામયિક (Astrophysical Journal) એસ્ટ્રોફિઝિકલ જર્નલના તંત્રી પ્રો. ચંદ્રશેખરે ૧૯૭૦ સુધી તે સામયિકમાં કવેસાર નામ સ્વીકાર્યું નહોતુ. ૧૯૭૦માં પ્રો. શ્મિટના એક લેખને છેડે તંત્રીનોંધ લખીને પ્રો. ચંદ્રશેખરે જણાવ્યું કે હવે કવેસાર શબ્દની સ્પષ્ટ વ્યાખ્યા પ્રો. શ્મિટે આપી છે તેથી હવેથી આ સામયિકમાં કવેસાર નામનો ઉપયોગ કરી શકાશે.

પલ્સાર અને ન્યુટ્રોન તારકો

ગ્રહો સ્થિર પ્રકાશ આપે છે પણ તારાઓનું તેજ ટમટમે છે. એટલે તો તારાઓનું વર્ણન કરતાં કવિઓ 'પેલા ચમક ચમક ચમકતા તારલિયા'' એવી વાક્યરચના વાપરે છે. ગ્રહો પ્રકાણમાં આપણી નજીક છે તેથી આકાશમાં તે તેજ-બિન્દુ જેવા નથી દેખાતા પણ તેજ-ચકરડી જેવા દેખાય છે. ભૌતિક વિજ્ઞાનનો સિદ્ધાન્ત એવો છે કે પૃથ્વી આસપાસના વાતાવરણમાં રહેલાં રજકણો, વાયુ પ્રવાહો (પવનો) ની ગતિ (Turbulance) ને કારણે એક બિન્દુમાંથી આવતો પ્રકાશ ખેરવિખેર થઈ ટમટમાટ કે ચમક-ચમકાટ ઉત્પન્ન કરે છે. હવે કવેસાર પણ તારક જેવો બિન્દુ સ્રોત છે તો પછી કવેસારમાંથી આવતાં રેડીઓ-મોજા આવો ટમટમાટ અનુભવે કે કેમ એ પ્રશ્ન કેમ્બ્રિજ યુનિવર્સિટીના પ્રોફેસર એન્ટોની હ્યુઈશના મનમાં ઉઠયો રેડીઓ તરંગો અને પ્રકાશ આમ તો એક જ પ્રકારનાં આન્દોલનો (વિદ્યુત્ચુમ્બકીય આન્દોલનો)છે, ફક્ત તરંગ લંબાઈમાં ફેર છે. પ્રકાશની તરંગ-લંબાઈ ઘણી નાની છે જયારે રેડીઓ-મોજાની લંબાઈ ઘણી મોટી છે. આ મોટી લંબાઇનાં મોજાને વિખેરીને ટમટમાડ ઉત્પન્ન કરવા પૃથ્વીના વાતાવરણના પવનો તો નબળા પડે. પરંતુ સૂર્યમાંથી વિદ્યુતભારિત અયનોનાં વાદળોના ગોટેગોટા ધસમસતા બહાર આવે છે, જેને સૌર પવનો કહેવાય છે. આ સૌર પવનોમાંથી પસાર થતાં રેડીઓ-તરંગો ટમટમાટ અનુભવે ખરા. આમ વિચાર કરી હ્યુઇશે એક પ્રોજેક્ટ તૈયાર કર્યો. અને અવકાશ-માંથી ઝીલાતાં રેડીઓ-તરંગોના ટમટમાટને પકડી પાડી એ ટમટમતા તરંગના સ્રોત તરીકે કવેસાર શોધી કાઢવાની તેમની યોજના હતી. પોતાની એક તેજસ્વી વિદ્યાર્થિની જોસેલિન બેલને તેના પીએચ.ડી. કાર્યક્રમ તરીકે આ યોજના ઉપર કામ કરવાનું સૂચવ્યું.

રેડીઓ-તરગો ઝીલવા માટે અનેક પ્રકારની એન્ટેના વપરાય છે. તેમાની એક'' દ્વિ-ધ્રુવી' એન્ટેના આકૃતિમાં બતાવી છે. ટી. વી. માટે આવી દ્વિ-ધ્રુવી (Dipole) એન્ટેના જ વપરાય છે. મકાનો ઉપર આપણે જે ચાર પાંચ સળિયા વાળી એન્ટેના જોઈએ છીએ, તેમાં એક સિવાય બીજા એકલ સળીયાજ હોય છે. ફક્ત બીજા નંબરે એકલ સળિયાને બદલે સળિયાના બે છેડા વાળીને એકબીજાની નજીક આણેલા હોય છે. આ વાળેલા સળિયાવાળી વ્યવસ્થા જ દ્વિ-ધ્રુવી એન્ટેના છે. એક બીજાની નજીક આણેલા બે છેડા તે બે ધ્રુવ છે જેને વાયરથી ટી. વી. સાથે જોડવામાં આવે છે.(આ વાળેલા - સળિયાની આજુબાજુના એકવડીઆ સળિયા-મોજા' એકઠાં કરવા અને એન્ટેના તરફ પ્રતિબિમ્બિત કરવાના હેતુથી ગોઠવેલા હોય છે) પ્રોફેસર હ્યુઈશના પ્રયોગમાં આવી. 2,048 દ્વિ-ધ્રુવી એન્ટેના સાડાચ ર એકરના વિશાળ ખેતરમાં જુદાજુદા થાંભલા ઉપર ગોઠવવામાં આવી હતી. અવકાશમાંથી

આવતા રેડીઓ-મોજાંની તીવ્રતા ઘણી જ મંદ હોવાથી આવી અનેક એન્ટેનાવાળી વ્યવસ્થા ઊભી કરી તેમાંથી માપી શકાય તેવી શક્તિનું આન્દોલન મેળવાય છે. આ આખી વ્યવસ્થાનું વાયરિંગ ૨૪ વર્ષની જોસેલિનબેલે કર્યું હતું, અને જુલાઇ ૧૯૬૭માં બધું તૈયાર થઇ ગયું. એન્ટેના પર પડતાં રેડીઓ-તરંગો-ને કોમ્પ્યુટર મારફતે કાગળની ટેપ પર ગ્રાફના રૂપમાં અંકિત કરવાની વ્યવસ્થા પણ કરી હતી. પૃથ્વી તેની ધરી ઉપર ફરતી જાય તેમ જોસેલિનની એન્ટેનાનું આ વિશાળ જાળું આકાશના જુદાજુદા ભાગો સામે આવતુ જાય અને તે તે ભાગોમાંથી આવતાં રેડીયો-તરંગોની નોંધ ટેપ ઉપર રેકાર્ડ કરતુ જાય; દિવસના ૩૦ મિટરના હિસાબે ગ્રાફ પેપર પર તરંગ-આંદોલનો નોંધાતા આવે એવી ગોઠવણ હતી. અઠવાડિયાનો એક દિવસ નક્કી કરી તે દિવસે આખો દિવસ (= ૨૩ કલાક, ૫૬ મિનિટ) રેકાર્ડિંગ ચાલે અને આમ કેટલાંયે અઠવાડિયે સુધી આ પ્રવૃત્તિ ચાલુ રહે. દરેક અઠવાડિયે આકાશનાં કોઇ નિશ્ચિત સ્થાનેથી આંદોલનો નોંધાતાં જ રહે, તો આકાશનાં તે સ્થળે કવેસાર હોવાની શક્યતા ઊભી થાય. આકાશમાંથી આવતા આ તરંગોના ગ્રાફનું પૃથક્કરણ કરી, તેનું અર્થઘટન કરી નવા નવા કવેસારનાં સ્થાનોનો નિર્દેશ કરવો તે મિસ બેલના પીએચ. ડી.ના મહાનિબંધનું મુખ્ય કાર્ય હતું

૬ ઠી ઓગષ્ટ ૧૯૬૭ને રોજ નોંધાયેલી ટેપનો અભ્યાસ કરતાં મિ. બેલને એક જગ્યાએ "થોડી ધુજરી" દેખાઈ-લગભગ એક સેન્ટીમિટર લંબાઈનું ધુજતું આન્દોલન તેણે જોયું. જ્યારે આ 'ધુજારી' નોંધાઈ હતી ત્યારે સમય મધ્યરાત્રિનો હતો એટલે સૌર પવનોની વચ્ચે તો પૃથ્વી આવી ગઈ હતી તેથી આ 'ધુજારી' કવેસારનો ટમટમાટ તેહોઈ શકે નહિ ! હશે, કોઇકે બરાબર આ જ વેવ-લેગ્થ ઉપર રેડીઓ કે એવું કાંઇક ચલાવ્યુ હશે અને સ્થાનિક દખલને કારણે ધૂજારી ઊભી થઇ હશે એમ વિચારી વાત વિસારે પડી.

પણ સપ્ટેમ્બરમાં તો ફરી પાછી ધૂજારી દેખાઈ અને આકાશના એજ ભાગમાંથી ! સપ્ટેમ્બરના અન્ત સુધીમાં તો આ ધુજારી છ પ્રસંગોએ નોંધાઈ જ્યારે જ્યારે લોમિશ નક્ષત્ર એન્ટનાના કિરણ-પથ ઉપરથી પસાર થાય ત્યારે ત્યારે ગ્રાફ ઉપર "ધૂજારી" નોંધાતી હતી. સ્પષ્ટ છે કે "સ્થાનિક દખલ" આનુ કારણ ન હોઇ શકે. આથી હયુઇશે કલ્પના કરી કે આ નક્ષત્રમાંનો એકાદ તારો સમય પર ભભૂકી ઊઠતો હશે અને તેના આન્દોલનો ધૂજારી બતાવતા હશે. ખાતરી કરવા તેમણે તેમનું ગ્રાફ દોરતું રેકોર્ડિંગ યંત્ર ઝપાટાબંધ ચલાવવાનું નક્કી કર્યું જેથી ધૂજારી લાંબા અંતર સુધી ટેપ પર આલેખાય અને વિગતે જોઈ શકાય. પછી તો કેટલાયે અઠવાડિઆ સુધી ધૂજારી જ અદ્દશ્ય થઈ ગઇ ! પણ નવેમ્બરના અન્ત ભાગમા ફરી દેખાય. 28 નવેમ્બરે કરેલા ઝડપી રેકાર્ડિંગના આલેખમા સ્પષ્ટ થયું કે ધીમા રેકાર્ડિંગમા જે માત્ર પુજારી રૂપે દેખાતુ હતું તે ખરેખર તો એક સેકન્ડ કરતા થોડા વધુ સમયગાળામા થતા ઘડિયાળના કાંઠા જેટલા નિયમિત સ્પંદનો છે !

આ અવલોકનથી બન્ને (પ્રો. હયુઇશનો અને મિસ બેલ) આશ્ર્ચર્યમાં પડી ગયા. હયુઇશનો પહેલો પ્રતિભાવ તો એ જ હતો કે આ સ્પંદન તો માનવસર્જિત હોવુ જોઇએ આટલી ઝડપથી ધબકતી કોઈ પરિઘટના ખગોળને ચોપડે નોધાયેલી નહોતી જ. પણ પછી જાત જાતના માનવસર્જિત સ્પંદનોનો

વિચાર કરતાં જણાયું કે માનવસર્જિત કોઈ પણ ક્રિયા સ્પંદનો સમજાવી શકે તેમ નથી. આ સ્પંદનો (ધબકાર) સમયપાલનમાં એટલાં બધાં નિયમિત હતાં કે ચાર માસ જેટલા ગાળામાં પણ બે સ્પંદનો વચ્ચેના સમયગાળામા એક સેકન્ડ જેટલો પણ ફરક પડતો નહતો ! દરેક 1-33730103 સેકન્ડે એક સ્પંદન (એક ધબકારો) એ હિસાબે નિયમિત સ્પંદનો ઝડપી રેકોર્ડર પર નોંધાતાં જ જતાં હતાં !

પૃથ્વી પરથી તો એવાં રેડીઓ-તરંગોનાં સ્પંદનો ઉત્પન્ન થતાં હોય તેવુ કોઈ સંતોષપ્રદ કારણુ ન મળતા તેમણે એવી માન્યતા બાંધી કે આ રેડીઓ-સ્પંદનોનું ઉગમસ્થાન સૂર્યમંડળના દૂર દૂર ક્યાંય હોવું જોઇએ. બે સ્પંદનો વચ્ચેનો ટૂંકો સમયગાળો તો એમ સૂચવે છે કે સ્પંદનના સ્રોતનો વ્યાસ એકાદ ગ્રહના વ્યાસ કરતાં મોટો ન હોઇ શકે. હયુઈશ લખે છે કે "અમને તો એમ પણ લાગવા માંડયું હતું કે આ સ્પંદન-સંકેતો કોઈ બીજા તારક આસપાસ ઘુમતા ગ્રહમાંથી ઉદ્‌ભવતા બિનકુદરતી રેડીઓ-સંકેતો હોવો જોઇએ."

આ પ્રકારના અવલોકનની જાહેરાત કેવી કરવી તે મોટો સવાલ હતો. જ્યાં સુધી મનને સંતોષ થાય તેવું કારણુ ન બનાવી શકાય ત્યાં સુધી "એમ આવું જોયું" એમ કહેવાનો શો અર્થ ? મિસ બેલને તો પોતાની નાતાલ બગડી હોય તેવુ લાગ્યું પીએચ ડી કરવા માટે તેણે મહેનત કરી હજારો મપાય તેટલી લાંબી ટેપ ઉપર નોંધાયેલા આલેખોનો અભ્યાસ શરૂ કર્યો બરાબર ત્યારે અન્ય કોઇ ગ્રહ-મંટળમાંથી કોઈ લીલા ઠિંગુજી* ને તેની જ એરિયલ મારફત * બીજી દુનિયામાં વસતા અવકાશી માનવોને સિનેમાં-ફિલ્મોમાં લીલાં કપડાં પહેરલા ઠિંગુજી તરીકે દેખાડવાનો રિવાજ છે તેથી અવકાશી અન્ય ગ્રહોના માનવ માટે લીલો ઠિંગુજી Little Green Man શબ્દ પ્રચલિત થયો છે. પૃથ્વી પરના માનવ સાથે સંદેશા વ્યવહાર કરવાનુ સૂઝ્યું! અને તેનું પી. એચ. ડી. નું બગડવા બેઠું !

આવા આવા વિચારોમાં તે ડિસેમ્બર ૧૯૬૭ની એક સાંજે આંલેખોનું પુથક્કરણ ચાલુ રાખવા પ્રયોગશાળામાં ગઈ. અને તે દિવસે લેવયેલા આલેખમાં ફરી તેણે બીજી જ ધ્રુજારી જોઈ અને તે આકાશના તદ્દન જુદા જ ભાગમાંથી નોંધાઇ હતી. અગાઉની ટેપનાં રીલ ઉખેળતાં તેણે જોયું કે આ ધ્રૂજારી પહેલાં પણ નોંધાઈ હતી અને તે દિવસે મધરાત પછી ૧-૦૦ વાગે ફરી પાછી તેની એન્ટેના તે ભાગની સામે જ આવવાની હતી ! રાત્રે ૧-૦૦ વાગે તે પ્રયોગશાળામાં હાજર થઇ ગઈ. આ નવા સ્રોતમાંથી પણ રેડીઓ-સ્પદનોની હારમાળા આવી રહી હતી અને તેનાં બે સ્પંદનો વચ્ચેનો સમયગાળો લગભગ ૧-૨૫ સેકન્ડ જેટલો હતો.

પછી તો આવા કુલ ચાર સ્પંદન-સ્રોત અવલોકાયા દરેકનો પોતાનો વિશિષ્ટ સ્પંદન-દર તેમને LGM-1થી LGM-4 નંબરો આપવામાં આવ્યો, LGM તો Heittle Green Man (લીલા ઠિંગુજી)નું ટૂંકું રૂપ હતું! ! જો કે આ નવી શોધની જાહેરાત કરતાં પહેલાં જ કેમ્બ્રિના આ વૈજ્ઞાનિકોનાં જૂથે સાબિત કર્યું હતું કે LGM-1 બિનકુદરતી (ઠિંગુજી સર્જિત) સંકેત હોઈ શકે શહિ. કારણુ કે જો આ

સંકેતો કોઇ તારા આસપાસ ઘૂમતા ગ્રહ ઉપરથી આવતા હોય તો પુથ્વી અને આ ગ્રહ વચ્ચેની સાપેક્ષ ગતિની અસર છ માસના ગાળામાં સ્પંદન-દર ઉપર દેખાવી જોઇએ. પણ આવી કોઈ અસર દેખાતી નથી. પરમાણું-ઘડિયાળ કરતાં પણ વધુ નિયમિત રીતે આ સ્પંદન-દર સતત એકધારો જ રહે છે. આમ આ સ્પંદનો બિનનૈસર્ગિક હોવાનો સંભવ નાબૂદ થતાં સ્રોતના નામમાં LGM મૂકવાનું બંધ કરી તેમને સ્પંદક (Pulsar-પલ્સાર) નામ આપવામાં આવ્યું.

પલ્સારમાંથી આવતાં રેડિયો-સ્પદનોમાં ટૂંકી તરંગ લંબાઈવાળો ભાગ વધુ લંબાઈવાળા ભાગ કરતાં વહેલો આવતો હતો અને તે ઉપરથી પલ્સારના આપણાથી અન્તરનો અંદાજ લગાવી શકાય તેમ હતું. આ અદાજ ઉપરથી સ્પષ્ટ થયું કે આ પલ્સાર બધા આપણા આકાશ-ગંગા વિશ્વમાં આવેલા છે. પણ પલ્સાર શું છે તે કોયડો તો ઊભો જ હતો.

અહીં આપણે તારાઓના ઉત્ક્રાન્તિ-ઇતિહાસની ઝાંખી કરી લઇએ. શરૂઆતમાં વિશ્વ વાયુનાં વાદળ (મુખ્યત્વે હાયડ્રોજન) રૂપે હતું આ વાદળમાં કોઈ બિન્દુએ ઘનતા વધી જવાથી તે બિન્દુ ગુરુત્વાકર્ષણનું કેન્દ્ર બને અને તેની આસપાસ વાયુનો ગોળો બનવા લાગે. કેન્દ્રમાં વાયુની ઘનતા વધતી આવે એટલે ગુરૂત્વીય આકર્ષણની માત્રા વધતી આવે તેથી ગોળાનો વાયુ વધુ ને વધુ કેન્દ્ર તરફ આકર્ષાતો આવે. પરિણામે ગોળાની સપાટી સંકોચાતી આવે. આ પરિઘટનાને ગુરુત્વીય સંકોચન કહે છે. ટૂંકમાં વિશાળ વાયુ વાદળમાં એકાદ બિન્દુએ ઘનતા વધી જાય તો ગુરુત્વીય સંકોચનને કારણે તે બિન્દુ આસપાસ વાયું એકત્ર થતાં તારક ઘડાવા લાગે છે.

હવે ગુરુત્વીય સંકોચનનો એક ગુણધર્મ એ છે કે સંકુચન દરમિયાન શક્તિ (ગરમી) ઉત્પન્ન થાય છે આમ ગુરુત્વાકર્ષણને કારણે જેમ જેમ તારો સંકોચાતો આવે તેમ તેમ કેન્દ્ર આસપાસ રહેલાં દ્રવ્યનું તાપમાન વધતું આવે. આ કેન્દ્રિય તાપમાન અંશ જેટલું થાય ત્યારે ત્યાં ચાર હાઇડ્રોજન પરમાણુના સંયોજનથી એક હિલિયમનુ પરમાણુ રચાવાના અનુકૂળ સંયોગો ઉભા થાય છે.

$$4\ {}^{1}H = {}^{4}H^{e} + Y$$

પણ એક હિલિયમ પરમાણુંનું દ્રવ્યમાન ચાર હાયડ્રોજન પરમાણુંના દ્રવ્યમાન કરતાં થોડું ઓછું છે, એટલે બાકી રહેતું જરા જેટલું દ્રવ્ય m આઈન્સ્ટાઈનના નિયમ $E=mc^2$ મુજબ શક્તિ રૂપે બહાર વહેવા લાગે છે આ બહાર વહેતું વિકિરણ ગુરુત્વીય સંકોચનની વિરુધ્ધનું દબાણ ઊભું કરે છે. આમ તારાના કેન્દ્રમાં હાડ્રોજની પરમાણુ ભઠ્ઠી પૂરજોશમા. ચાલુ થતાં ગુરૂત્વીય સંકોચન અટકી જાય છે. અને તારો સ્થિર સ્થિતિ ધારણ કરે છે. આ છે તારાના જન્મ અને યુવાનીની ગાથા આપણો સૂર્ય આવી સ્થિર સ્થિતિ પામેલા અનેક યુવાન તારઓમાંનો એક છે.

આવા યુવાન તારાઓના કેન્દ્રમાં હાઇડ્રોજન વાપરતી પરમાણુ ભઠ્ઠી કરોડો વર્ષ સુધી ચાલતી રહે છે, પણ છેવટે તો એક વખત એવો આવશે જ્યારે તારાના ઘણા ખરા હાઇડ્રોજનનું હિલિયમમાં રૂપાન્તર થઈ જશે એટલે તારકના કેન્દ્રમાં હિલિયમનો ભરાવો થશે. પરમાણુ ભઠ્ઠી ધીમી પડતાં ગુરુત્વીય સંકોચનને રોકતું વિકિરણ-દબાણ ઘટી જશે. ફરી ગુરુત્વીય સંકોચન ચાલુ થશે અને કેન્દ્રનું તાપમાન વધવા લાગશે. આ તાપમાન 10^6 અંશથી વધીને 10^8 અંશ સુધી પહોંચશે ત્યારે જમા થયેલ હિલિયમમાંથી કાર્બનમાં રૂપાન્તર થવાના સાનુકુળ સંયોગો ઉભા થશે અને હિલિયમ ભઠ્ઠી ચાલુ થશે.

$$3\,{}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C$$

અને ફરી પાછો વિકિરણ પ્રવાહ ચાલુ થશે અને ગુરુત્વીય સંકોચન રોકાઈ જશે.

આ વાર્તા તો આગળ ચલાવી શકાય. હિલિયમનું ઘણું ખરૂં બળતણ વપરાઈ જાય એટલે પછી નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયા દર્શાવતાં પરમાણુ સંયોજનો બનાવવાની ભઠ્ઠી ચાલુ થશે.

$${}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{16}_{8}O$$

$${}^{16}_{8}O + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{20}_{10}Ni$$

$${}^{20}_{10}Ni + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{24}_{12}Mg$$

પણ એ તો જાણીતું છે કે પરમાણુ-કોઠામાં મધ્યમાં આવેલાં તત્વો ક્રોમિયમ, લોખંડ, નિકલ વગેરેનું એક બીજા સાથે સંયોજન શક્ય નથી, તેથી તારાના કેન્દ્રમાં આવી ધાતુઓનો ગઠ્ઠો જમા થઈ જાય પછી પરમાણુ ભઠ્ઠી ચાલતી બંધ થશે. તારાના કેન્દ્રમાંથી બહાર નીકળતુ વિકિરણ ઘણું જ ઘટી જશે અને તારો ગુરુત્વાકર્ષણ નીચે એક ધારો સંકોચાવા લાગશે.

પરમાણુ ભઠ્ઠી બંધ થયા પછી તારાનું ગુરુત્વીય સંકોચન રોકતું કોઈ બળ ન રહેવાથી આ સંકોચન વધતું જ આવશે. તારકની ત્રિજ્યા ઘટતી આવશે. તો તે ઘટી ઘટીને કેટલી થશે ? શૂન્ય થઈ શકશે ?

આ પ્રશ્નનો ઉત્તર ફાઉલર નામના ગણિતીએ ૧૯૨૫ના અરસામાં આપ્યો તેના ઉકેલ પ્રમાણે જ્યારે સંકોચન ખૂબ વધી જાય છે ત્યારે તારાનું દ્રવ્ય ખૂબ ભીંસ અનુભવે છે આ ભીંસને કારણે દ્રવ્યનાં પરમાણુંમાં નાભિ આસપાસ ફરતાં ઇલેક્ટ્રોનમાંથી ઉપરના બે, ત્રણ ઇલેક્ટ્રોન છૂટાં પડી જાય છે અને આમ તારક દ્રવ્યમાં છૂટાં ફરતાં વિજાણુ (ઇલેક્ટ્રોન) નું પ્રમાણ વધવા લાગે છે ગુરુત્વીય સંકોચન તો ચાલુ જ રહે છે એટલે આ છૂટાં ફરતાં ઇલેક્ટ્રોન એક બીજાની નજીક આવતા જાય છે પણ પાઉલીના સિદ્ધાન્ત પ્રમાણે કોઈ પણ બે ઇલેક્ટ્રોન એક સરખી સ્થિતિમાં આવી શકે નહિ. આથી જ્યારે ગુરુત્વીય સંકોચનને કારણે બે ઇલેક્ટ્રોન એક જ સ્થાનની નજીક આવવા લાગે છે ત્યારે પાઉલીના સિદ્ધાન્ત પ્રમાણે તેમને તેમ કરતાં રોકવા માટે એક ખાસ બળ ઉભું થાય છે. જે ને વિજાણુવિકૃતિ દાબ કહે છે. અને આ નવું ગુરુત્વીય સંકોચન વિરોધી બળ સંકોચન રોકે છે. અને તારો ફરી પાછો સ્થિર સ્થિતિ પ્રાપ્ત કરે છે; અને સફેદ વામનનું રૂપ ધારણ કરે છે, વામન એટલા માટે કે તેની ત્રિજ્યા ઘણી જ

ઓછી છે અને સફેદ એટલા માટે કે તારાનું તાપમાન તો પહેલાં જેટલું જ છે પણ તારાની સપાટી હવે ઘણી ઘટી ગઈ છે તેથી એકમ ક્ષેત્રફળમાંથી નીકળતી શક્તિ ઘણી વધી જાય છે આમ તારક સપાટીનું સ્પેટ્રોસ્કોપથી માપેલું તાપમાન ઘણું જણાય છે. સ્પેક્ટ્રોસ્કોપમાં તારક ગરમીથી સફેદ (White hot) દેખાય છે.

ફાઉલરની આ ગણતરીમાં નીલ બ્હોરનાં ક્વૉન્ટમ્ સંમીકરણો વપરાયાં હતાં ભારતીય વિદ્યાર્થી ચંદ્રશેખરે સાપેક્ષતાયુક્ત ડિરાકનાં સમીકરણો વાપરીને આ જ પરિણામ મેળવ્યું પણ સાથે સાથે તેણે એક શરત પણ મેળવી તેણે મેળવેલ શરત પ્રમાણે જો તારકનું દ્રવ્યમાન સૂર્યના દ્રવ્યમાનના ૧.૫ ગુણાથી ઓછું હશે તો જ વિજાણુ-વિકૃતિ દાબ ગુરુત્વીય સંકોચનને રોકી શકશે. આ ૧.૫M_0 (M_0 = સૂર્યનું દ્રવ્યમાન) ચંદ્રશેખર લિમિટ કહેવાય છે.

ઉંમરે પહોંચેલા તારકનું દ્રવ્યમાન જો સુર્ય-દળથી દોઢું કે તેથી ઓછું હોય તો ગુરુત્વાકર્ષણની ભીંસ નીચે ઉભું થતું વિજાણું-વિકૃતિ દબાણ ગુરૂત્વીય અઃધપાતને રોકી શકશે અને તારક સફેદ વામનનું રૂપ ધારણ કરી ધીરે ધીરે શક્તિ ગુમાવી મુત્યુ પામશે. પણ તારકનું મૂળ દ્રવ્યમાન સુર્યના દ્રવ્યમાન દોઢા કરતાં વધારે હોય તો શું થશે. ? તેવા તારકોમાં ઉત્પન્ન થતું વિજાણુવિકૃતિ દબાણ ગુરુત્વીય કેન્દ્રગામી આકર્ષણને ખાળી શકતું નથી અને તારકનું સંકોચન તથા તારકદ્રવ્ય ઉપરની ભીંસ ચાલું રહે છે. આ ભીંસ નીચે દ્રવ્યનાં પરમાણુ તૂટી જાય છે, ઋણુ વિધુત્‌ભાર ધરાવતા વિજાણુઓ અને ધન-ભાર ધરાવતા દ્રવ્ય-નાભિઓ છૂટા પડી જાય છે. પણ જ્યાં સુધી ગુરૂત્વાકર્ષણને રોકનારુ કોઈ બળ ઊભું ન થાય ત્યાં સુધી આ ભીંસ તો વધતી જ ચાલે અને છેવટે ઋણુ-ભારિત વિજાણુ અને ધન-ભારિત નાભિઓ નજીક આવી અથડાતાં તેમના વિધુત ભારો પરસ્પરનો છેદ ઉડાડી તેમાંથી વિધુત્‌-ભાર રહિત ન્યુટ્રોન ઊભાં થાય. આમ આવા તારકોનું ઘણુંખરૂં દ્રવ્ય ન્યુટ્રોન કણોના રૂપમાં ફેરવાઈ જાય અને આ ન્યુટ્રોન કણો માટે પણ વિજાણુઓ જેવો જ પાઉલીનો પ્રતિબંધ નિયમ લાગુ પડે એટલે કે કોઇ પણ બે ન્યુટ્રોન એકસરખી પરિસ્થિતિમાં એકસાથે આવી શકે નહિ. આથી ઉપરની કલ્પના પ્રમાણે તારક દ્રવ્ય જો મુખ્યત્વે ન્યુટ્રોન કણોનું બનેલું હોય અને આ દ્રવ્ય ઉપર ગુરૂત્વાકર્ષણની ભીંસ ચાલુ રહે તો ન્યુટ્રોન એકબીજાની નજીક આવવા લાગે અને પ્રતિબંધક નિયમને લીધે બે ન્યુટ્રોનને એકસરખી પરિસ્થિતિમાં આવતાં રોકવા એક વિશિષ્ટ પ્રકારનું બળ ન્યુટ્રોનવિકૃતિ દાબ બળ ઊભું થાય જે તારકના ગુરુત્વીય સંકોચને અવરોધી તારકને સ્થિર સ્થિતિમાં લાવી શકે. આમ સૂર્યદળ કરતાં દોઢા વજન કરતાં વધુ વજન ધરાવતા તારકો માટે એક નવી શક્યતા વિચારી શકાય. આવા તારકો છેવટે ન્યુટ્રોન તારકોમા ફેરવાઇ જાય. પણ આકાશમાં આવા ન્યુટ્રોનના બનેલા તારકો અવલોકાયા છે ? ઉપરની તારક-ઉત્ક્રાન્તિની કલ્પના તો પૃથ્વી પરની પ્રયોગશાળામાંથી ઉદ્‌ભવેલાં ભૌતિકવિજ્ઞાનના જ્ઞાન ઉપરથી આપણે કરી શકીએ પણ બ્રહ્માંડની વિશાળ નૈસર્ગિક પ્રયોગ-શાળાઓમાં ખરેખર એમ થતું હોય તો આવા ન્યુટ્રોન તારકો અવલોકવા જોઇએ.

હવે આપણે પલ્સારનાં અવલોકનો તરફ ફરીશું. હયુઇશે તારક ઉત્ક્રાન્તિનાં પુસ્તકો ઉથલાવી જોયાં તો તેને લાગ્યું કે પલ્સાર સફેદ વામન કે ન્યુટ્રોન તારક હોઇ શકે. આવા ઘટ્ટ તારાઓના બંધારણના સિદ્ધાન્તો વિષે ઝિવકીએ કરેલાં સંશોધનો ઉપરથી એવું પરિણામ મળતું હતું કે આવી ઉચ્ચ ઘનતા ધરાવતા તારકો સ્થિર રહી શકે નહિ પણ આકુંચન-વિકુંચન પામતા રહેવા જોઇએ એટલે કે હૃદયની જેમ ધબકતા રહેવા જોઇએ ઝિવકીએ તો તેમના ધબકારાના દર માટે સૂત્ર પણ આપ્યું હતું. આ સૂત્ર સફેદ વામન તારક માટે વાપરાતાં જે ધબકારેના દર મળ્યા તે પલ્સાર માટે અવલેકાયેલા 1 સિકન્ડનાં દર કરતાં ઘણા મેાટા નીકળ્યા. એટલે કે પલ્સારનાં સ્પંદનની ઝડપે ધબકવા માટે સફેદ વામનેાની ઘનતા ઓછી પડે છે અને તેમનેા વ્યાસ મેાટો પડે છે !

હયુઈશ, બેલ અને તેમના સાથીદારેાએ ૧૯૬૮ના ફેબ્રુઆરીની ૧૫મીના "નેચર" નામના સામયિકમાં તેમની શેાધની જાહેરાત કરી ત્યારે તેમાં પલ્સાર સફેદ વામન કે ન્યુટ્રોન તારક હોઈ શકે એમ પણ સૂચવ્યું હતું.

પરંતુ પલ્સારનાં સ્પંદન હૃદયના ધબકાર જેવાં હોવાને બદલે ઝડપથી પોતાની ધરી ઉપર પરિભ્રમણ કરતા તારકના પરિભ્રમણથી ઉત્પન્ન થતાં હોવાનો સંભવ વધુ છે એવું થેામસ ગેાલ્ડનુ સૂચન હવે લગભગ સ્વીકાર્ય થયું છે.

ગેાલ્ડના સુચન મુજબ સફેદ વામન તારક કરતાં વધુ વજનદાર તારક તેના ગુરુત્વીય સંકોચનને કારણે ન્યુટ્રોન તારક રૂપ ધારણ કરે ત્યારે તેનું અક્ષ પરિભ્રમણ અનેક ગણું ઝડપી બને છે આ સમજવું સહેલુ છે. તારકનું કોણીય વેગમાન (angular momentum) અચળ રહે છે. આ કોણીય વેગમાનની કિંમત $\frac{2}{5} Mr^2$ ∩ છે. તારકનું દ્રવ્યમાન M અચળ છે. ગુરુત્વીય સંકોચન નીચે તેની ત્રિજ્યા r ઘટતી આવે છે. માટે $\frac{2}{5} Mr^2$ ∩ અચળ રાખવા માટે તેનો પરિભ્રમણ વેગ ∩ વધતે આવવેા જોઈએ ગેાલ્ડના અંદાજ મુજબ ન્યુટ્રોન તારક એક સેકન્ડના હજાર કે તેથી વધુ પરિભ્રમણો પૂરાં કરે તેટલી ઝડપે તેના અક્ષ આસપાસ ઘૂમતો હોવેા જોઇએ. આવું તીવ્ર પરિભ્રમણ ધરાવતા તારકની આસપાસ ચુંબકીય ક્ષેત્ર પણ અનેક ગણું તીવ્ર થઈ જાય છે. આવા તીવ્ર પરિભ્રમણ તથા તીવ્રતર ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર નીચે તારકની સપાટી પરનાં વિધુતભારિત કણેા પ્લાઝમાના રૂપમાં તારકની આસપાસ ઘૂમવા લાગશે અને પ્લાઝમાના બહારના ભાગનો વેગ લગભગ પ્રકાશના વેગની નજીક પહેાંચી જશે. આવે વખતે જો ચુંબકીય ક્ષેત્રની યેાગ્ય દિશા મળી જાય તો તીવ્ર ગતિએ ઘૂમતાં વિધૂત્‌ભારિત કણેામાંથી એકદિશ રેડીઓ કિરણેા છૂટશે અને જેમ દીવાદાંડીમાંથી છૂટતું પ્રકાશકિરણ દીવાદાંડીના ઘૂમવાથી આખા ક્ષિતિજમાં ફરી વળે છે તેમ ન્યુટ્રોન તારકના પરિભ્રમણ સાથે આ કિરણ તારક સાથે ઘૂમતું આખા વિશ્વમાં ફરી વળે છે. જ્યારે જ્યારે આપણે તેના માર્ગમાં આવીએ ત્યારે આપણે રેડીઓ સ્પંદન નેાંધીએ. ફરી પાછું તારકના પરિભ્રમણ બાદ આપણે તેના કિરણના ગતિમાર્ગમાં આવીએ એટલે આપણે બીજું સ્પંદન નેાંધીએ અને આ પરિક્રિયા પરમાણુ ઘડિયાળ કરતાં પણ વધુ ચેાકસાઈથી ચાલતી જ રહે છે.

આ છે ન્યુટ્રોન તારકેા અને પલ્સાર વચ્ચેનેા સંબંધ. આમ જુઓ તો ૧૯૬૭ ૬૮ દરમિયાન અવલેાકાયેલા પલ્સાર, ન્યુટ્રોન તારકેાના અસ્તિત્વની નિસર્ગે આપણને આપેલી સાબિતી છે.

પલ્સારનાં પહેલાં અવલેાકન માટે પ્રેા. હયુઇશને ૧૯૭૪નું ભૌતિક વિજ્ઞાનનું નેાબલ પારિતેાષિક એનાયત થયુ અલબત્ત મિસ જોસેલિન બેલ પી.એચ. ડી. થઈ ગયાં !

શ્યામલ વેહ (બ્લેક હોલ)

તારાઓનું બધું જ પરમાણુ ઇંધન જ્યારે વપરાઇ જાય છે ત્યારે તારકનો યૌવનકાળ પૂરો થાય છે અને ત્યાર પછીના તારાના વાર્ધક્યના આ તબક્કામાં ગુરુત્વાકર્ષણની અસર નીચે તારક ઝપાટાબંધ સંકોચાવા લાગે છે. આપણે અગાઉ જોયું છે કે તારક જો સૂર્યના દળ કરતાં દોઢ ગણું કે તેથી ઓછું દળ ધરાવતો હોય તો ગુરુત્વીય ભીંસ નીચે તેના વિજાણુંઓ છૂટી જતાં આ વિજાણુ એક વિશિષ્ટ બળ ઉત્પન્ન કરે છે જેને આપણે વિજાણુ-વિકૃતિ દબાણ કહ્યું છે. આ બળ ગુરુત્વીય ભીંસને રોકી શકે છે અને તારક સ્થિર સ્વ-રૂપ ધારણ કરે છે. અને તે સ્વરૂપમાં જ ધીરે ધીરે ઝાંખો પડી મૃત્યુ પામે છે. આ સ્વરૂપ તે સફેદ વામન તારકનું સ્વરૂપ છે. આવા સફેદ વામન તારકો આકાશમાં ઘણા અવલોકાયા છે અને હર્ટઝસ્પ્રંગ રસેલ આકૃતિમાં પણ સ્થાન પામ્યા છે.

હવે જો તારકનું દ્રવ્યમાન સૂર્ય દળના દોઢા કરતાં વધુ હોય અને તેવો તારક જિંદગીને આરે પહોંચે ત્યારે પ્રો. ચંદ્રશેખરની ગણતરી મુજબ તેમાં ઉત્પન્ન થતું વિજાણું-વિકૃતિ બળ ગુરુત્વીય ભીંસને રોકી રાખવા જેટલું સમર્થ હોતું નથી અને તારક સ્થિર સફેદ વામન સ્વરૂપ ધારણ કરવાને બદલે વધુ ને વધુ ભીંસાતો જાય છે. સંકોચનને કારણે તેનું કદ એટલું બધું ઘટી જાય છે કે તેની ત્રિજ્યા 25-30 કિલોમીટરની થઇ જાય છે. દોઢ સુર્ય દળ કરતાં પણ વધુ દ્રવ્ય ધરાવતા આ તારકની એક વખત તો લાખો કિલોમીટરની ત્રિજ્યા હતી ; હવે એટલું જ દળ 25-30 કિ. મી. ની ત્રિજ્યાના ગોળામાં સમાયું હોવાથી તારકની ઘનતા 2×10^{14} ગ્રામ / ઘન સેન્ટી. થઇ જાય છે. એટલે કે 1 લિટર તારક દ્રવ્યનું ત્યારે વજન વીસ કરોડ કિલોગ્રામ થાય. (સરખામણી માટે આપણે નોંધીએ કે એક લિટર પાણીનું વજન એક કિલોગ્રામ થાય છે. અને 1 લિટર પારાનું વજન 13.6 કિ. ગ્રા. થાય છે) કલ્પના કરો કે સુર્ય દળ કરતાં કંઇ ગણુ વધારે દળ 25 કે 30 કિ. મી. ત્રિજ્યાના ગોલકમાં ભરી દીધું છે (ભરી દીધું છે એમ કહેવાને બદલે ભીસી દીધૂ છે એમ કહેવું વધુ યોગ્ય થશે.) આ ભયંકર ભીંસમાં દ્રવ્યના પર-માણુમાંના વિજાણુ અને નાભિ છૂટા પડી જાય છે એટલું જ નહિ પણ એકબીજાથી એટલા નજીક આવી જાય છે કે ઋણભારિત ઇલેક્ટ્રોન અને ધનભારિત નાભિ એકબીજાના સંપર્કમાં આવી તેમના વિજભાર ગુમાવે છે અને વિજભારરહિત ન્યુટ્રોન કણોમાં ફેરવાઈ જાય છે. હવે આ ન્યુટ્રોન-કણોનું પણ એક ન્યુટ્રોન વિકૃતિ-બળ ઊભું થાય છે જે તારકની ગુરુત્વીય ભીસને રોકી શકે છે અને તારક સ્થિર સ્થિતિ પ્રાપ્ત કરે છે. આ છે ન્યુટ્રોન તારકો. આપણે અગાઉ જોયું કે ૧૯૬૭ મા પલ્સાર શોધાયા પછી તારક-ઉત્ક્રાન્તિના અંતિમ તબક્કાના ન્યુટ્રોન તારકોની કલ્પનાને અવલોકનનું પીઠ બળ પ્રાપ્ત થયુ છે અત્યારે એ માન્યતા દૃઢ થઈ છે કે પલ્સાર આવા ન્યુટ્રોન તારકો છે.

ચંદ્રશેખરની ગણતરી મુજબ વામન તારકો માટે દ્રવ્યમાનની મર્યાદા છે. વામન તારકનું દ્રવ્ય સૂર્ય દળ કરતાં દોઢ ગણાથી વધુ હોઇ શકે નહિ. આવી કોઇ મર્યાદા ન્યુટ્રોન તારકો માટે છે ખરી? ન્યુટ્રોન તારકોની આંતરિક રચના માટેનું ગણિત સરળ નથી. પરંતુ ચંદ્રશેખર-મર્યાદાનો અંદાજ મળી શકે એટલી ગણતરી તો થઇ શકી છે. આ ગણતરી ઉપરથી માલૂમ પડયું છે કે જો તારકનું દ્રવ્યમાન સૂર્ય દળ કરતાં પાંચગણું કે તેથી વધુ હોય તો તેમાં ઉત્પન્ન થતો ન્યુટ્રોન વિકૃતિ દાબ ગુરુત્વીય ભીંસને રોકી શકશે નહિ તો પછી આવા તારકોનું શું થશે? તેમનું ગુરુત્વીય સંકોચન ચાલતું જ રહેશે અને સંકોચતાં સંકોચાતાં છેવટે એક બિન્દુમાં બધું દ્રવ્ય સમાઈ જશે કે શું?

આ પ્રશ્નનો જવાબ આઇન્સ્ટાઈનના ગુરુત્વાકર્ષણના સિધ્ધાન્તમાંથી મળે છે

આઇન્સ્ટાઈનના ગુરુત્વાકર્ષણના સિધ્ધાન્ત પ્રમાણે ગુરુત્વીય સંકોચનને પરિણામે તારકના ઘટતાં જતાં કદને પણ મર્યાદા છે! જો તારકનું દ્રવ્યમાન M હોય તો ગુરુત્વીય સંકોચનને લીધે તેની ત્રિજ્યા $\frac{2GM}{C^2}$થી ઓછી થઈ શકે નહિ. (અહીં G ગુરુત્વનો અચલાંક છે અને તેની કિંમત 66.7×10^{-8} છે તથા C પ્રકાશનો વેગ દર્શાવતો અચલ છે. $(C=3\times10^{10})$ જ્યારે સંકોચન પામતાં પામતાં તારકની ત્રિજ્યા ન્યૂનતમ પર પહોંચે એટલે કે ત્રિજ્યા $2GM/c^2$ થઇ જાય ત્યારે તારક 'શ્યામ વેહ'(Black hole) નું સ્વરૂપ ધારણ કરે છે એમ કહેવાય છે. આ નામ કેમ પડયું તે આપણે આગળ ઉપર જોઈશું. આઈન્સ્ટાઈનના ગુરુત્વાકર્ષણના નિયમનું ગણિત એટલું સહેલું નથી છતાં ગુરુત્વીય સંકોચન નીચે ન્યૂનતમ ત્રિજ્યા કેમ મળે છે તે સમજવું પ્રમાણમાં સરળ છે.

આઈન્સ્ટાઇને સને ૧૯૫૦ ના તેના સાપેક્ષતાના નિયમમાંથી પેલું બહુ જાણીતું થયેલું સૂત્ર $E=mc^2$ તારવ્યું. આ સૂત્રનો સામાન્ય રીતે આપણે એવો અર્થ કરીએ છીએ કે m ગ્રામ દ્રવ્યમાનનું કોઇ પદાર્થ કણ લઇએ તો તેમાંથી mc^2 અર્ગ જેટલી શકિત મળી રહે. [c = પ્રકાશનો વેગ દર્શાવતી સંખ્યા = 3×10^{10}] પણ તેથી ઊલટો અર્થ પણ એ સમીકરણમાંથી નીકળી શકે $\frac{E}{c^2} = m$. E અર્ગ શકિતને E/c^2 ગ્રામ વજનના પદાર્થ જેવી ગણી શકાય. અને તો પછી પદાર્થની ગતિ ઉપર જેમ

ગુરૂત્વાકર્ષણની અસર પડે છે તેમ શક્તિના પ્રસરણ ઉપર પણ (કારણ કે શક્તિને પણ 'વજન' છે!) ગુરુત્વાકર્ષણની અસર પડે. સૂર્યના પેટાળમાંથી જે શક્તિનો ધોધ વહે છે તે શક્તિ સૂર્યની સપાટીઓથી બહાર નીકળે ત્યારે સૂર્યના ગુરુત્વાકર્ષણની અસર નીચે આવે છે તેથી સૂર્ય-પ્રકાશનો વેગ C ન રહેતાં ગુરૂત્વાકર્ષણ નીચે ઘટી જાય છે – જાણે કે સૂર્યથી ભાગવા માગતા સૂર્ય-કિરણને સૂર્યનું ગુરૂત્વાકર્ષણ રોકી રાખવાનો પ્રયત્ન કરતું હોય! સુર્યના પેટાળમાંથી બહાર નીકળેલુ કિરણ સૂર્ય-સપાટીએ પહોચ્યાં પછી c વેગથી આગળ વધવાને બદલે c $\left(1-\frac{2GM}{Rc^2}\right)$ વેગથી આગળ વધે છે. આઇન્સ્ટાઇનના ગુરુ-ત્વાકર્ષણના નિયમ ઉપરથી મેળવેલા આ સત્રમાં M સુર્યનું દ્રવ્યમાન દર્શાવે છે, R સુર્યની ત્રિજ્યા છે તથા $G=6.67 \times 10^{-8}$ ગુરુત્વાકર્ષણનો આંક છે, c ની કિંમત તો ઉપર જણાવી છે G અને c ની કિંમત મૂકી દઇએ તો સુર્ય-કિરણનો વેગ c $\left(1-\frac{1.48M}{R-} 10^{-28}\right)$ આવે છે. અહીં કૌસમાં 1 માંથી જે રકમ બાદ કરીએ છીએ તે 10^{-28} પ્રકારની છે અને તેથી સુર્ય-પ્રકાશના વેગનો આ ઘટાડો નહિવત્ છે, એમ પહેલી નજરે તો આપણને લાગે, અને આપણા સુર્ય માટે આ હકીકત સાચી પણ છે. પણ 10^{-23} ની સાથે ગુણાકારમાં $\frac{M}{R}$ આવે છે. હવે એવું બને કે કોઈ તારા માટે M બહુ મોટી સંખ્યા હોય અને R બહુ નાની સંખ્યા હોય? જો એવું થાય તો $\frac{M}{R}$ ઘણી મોટી સંખ્યા બને અને પછી $\frac{M}{R} \times 10^{-2}$ કદાચ અવગણી શકાય તેવી નાની સંખ્યા ન પણ રહે! શ્યામલ વેહની કલ્પના આવી જ ગાણિતિક વિચારધારામાંથી ઉદ્ભવી છે અને એક વાર ગણિતીઓ કોઈ કલ્પના કરે એટલે વૈજ્ઞાનિકો અને ખગોળશાસ્ત્રીઓ તે કલ્પના પ્રમાણેની પરિસ્થિતિ નિસર્ગમાં જોવા મળે છે કે નહિ તેની ખોજ આદરે અને આમ જ્ઞાન વિકાસની વણઝાર ચાલતી રહે છે.

શ્યામલ વેહની ગાણિતિક કલ્પના સુધી પહોંચવા આપણે હવે સુર્ય-પ્રકાશના વેગ ઘટાડવાનું સુત્ર જરા વધુ ઝીણવટથી તપાસીશું. સુર્ય માટે દ્રવ્યમાન $M=1.99 \times 10^{33}$ ગ્રામ તથા ત્રિજ્યા $R=6\ 96 \times 10^{10}$ સે મી તેથી સુર્ય માટે

$$\frac{1.48M}{R} * 10^{-08} = 4.2+10^{-6}$$

આમ સુર્ય માટે આ રકમ 10^{-68} જેટલી નાની નથી પણ $^{-6}$ જેટલી જ નાની છે! આમ સુર્ય-સપાટીએ

સૂર્યકિરણનો વેગ c $(1-4.2\times10^{6})$ થાય છે. સૂર્ય માટેની આ ગણતરી પરથી એટલું તો નક્કી થયું કે વેગ-ઘટાડાના સૂત્રમાં 10^{28}નું જેટલું મહત્ત્વ છે તેટલું જ લગભગ $\frac{M}{R}$ નું મહત્ત્વ છે અને સૂર્યની બાબતમાં $\frac{M}{R}$ની કિંમત લગભગ 10^{22} જેટલી થાય છે. આપણા મનમાં તરત જ વિચાર આવશે કે સૂર્ય માટે $\frac{M}{R}$ 10^{22} જેટલે થાય છે તો તો એવા કોઈ તારા હોઇ શકે ખરા જેમને માટે $\frac{M}{R}$ ની કિંમત 10^{28} જેટલી થાય ? બીજી રીતે કહીએ તો જે તારા માટે $\frac{1\text{-}48M}{R}10^{28}=1$ થાય તે તારા માટે તારા પ્રકાશનો તેની સપાટી પર વેગ $c\left(1-\frac{1\text{-}48M}{R}\times10^{28}\right)=0$ થઈ જશે ! તેવા તારાનું કિરણ તારક સપાટી પરથી આગળ વધશે જ નહિ ! ! અને જે તારાનું કિરણ આગળ વધે જ નહિ તે કિરણ આપણી આંખ કે આપણા ટેલિસ્કોપ પર પહોંચે જ નહિ અને તેથી તેવા તારકો આપણને 'દેખાય' નહિ ! $1\text{-}48\frac{M}{R}10^{28}=1$ એટલે $\frac{M}{R}=6\text{-}7\times10^{27}$ આવા તારાનું દ્રવ્યમાન M ઘણું વધારે હોય અને પ્રમાણમાં ત્રિજ્યા R ઘણી નાની હોય અને તેથી તેનું ગુરુત્વાકર્ષણ બળ ખૂબ જ વધી જાય. આપણે ઉપર જોયું તેમ એ બળ એટલું બધું વધી જાય છે કે તારાના પોતાના પ્રકાશના કિરણને તે બળમાંથી છટકવું મુશ્કેલ બને છે અને તારક-તેજનું કિરણ બહાર નીકળી શકતું નથી. કલ્પના થોડી આગળ ચલાવીએ. $\frac{M}{R}$ની કિંમત બરાબર $6\text{-}7\times10^{27}$ થાય એવા તારા તો જવલ્લેજ મળે પણ જો $\frac{M}{R}6\text{-}7\times10^{27}$ હોય તો ? તો તારક સપાટીએ પ્રકાશનો વેગ શૂન્યથી પણ ઘટી જાય એટલે કે ઋણ થઈ જાય. અને વેગ ઋણ થાય એટલે પ્રકાશનું કિરણ બહાર નીકળવાને બદલે તારાની અંદર શોષાઇ જાય ! આવા તારા માટે તેનો પોતાનો પ્રકાશ તો બહાર ન જ નીકળી શકે પણ બહારથી પ્રકાશનાં કિરણ તે તારક ઉપર પડે તો તેના ગુરુત્વાકર્ષણની અસર નીચે તે કિરણ તારક-સપાટીની અંદર શોષાઇ જાય ! અને પ્રકાશ જો શોષાઈ જતો હોય તો પદાર્થ તો જરૂર શોષાઇ જાય.

ઉપરની કલ્પના પ્રમાણે દ્રવ્યમાન M અને ત્રિજ્યા R ધરાવતા કોઈ તારાનું જો અસ્તિત્વ હોય તો તે તારાઓમાંથી કોઇ પ્રકાશ બહાર નીકળે નહિ. બહારનો પ્રકાશ તે તારક-સપાટી સાથે ભટકાઈને પાછો ફરી શકે નહિ પણ અંદર શોષાઇ જાય. આવા તારકને અવલોકવાનું એક માત્ર સાધન તેનું પ્રબળ ગુરુત્વાકર્ષણ બની શકે, આવા તારા માટે ગાણિતિક નામ શ્યામલ વેહ છે શ્યામલ કારણ કે તેનો પ્રકાશ આપણને પહોંચતો નથી અને તેથી આપણે તેને 'જ્યોતિપુંજ' તો કેમ કહી શકીએ. અને વેહ એટલા માટેકે પદાર્થ અને પ્રકાશ માટે તે અવકાશી કૂવા જેવું છે. જે કાંઇ તેની ઉપર પડે તે જાણે છિદ્રમાં પડયું હોય તેમ અંદર ગરકી જાય છે.

આ પ્રમાણે જો તારકનું દ્રવ્યમાન સૂર્યદળ કરતાં પાંચગણું કે તેથી વધારે હોય તો તારકની પ્રૌઢાવસ્થા પછી તે છેવટે શ્યામલ વેહના રૂપમાં અંતિમ અવસ્થાને પામશે. પણ આકાશમાં જેમ સફેદ વામન અવલોકાયા છે. ન્યુટ્રોન તારકો પણ પલ્સારના રૂપમાં અવલોકાયા છે તેમ શ્યામલ વેહ અવલોકાયા છે ખરા ? વળી જેમાંથી પ્રકાશ કે રેડીયો મોજાં બહાર જ ન નીકળી શકે તે 'અવલોકાય' કેવી રીતે ?

જન્મે ભારતીય પણ અમેરિકા જઈ વસેલા પ્રોફેસર એસ. ચંદ્રશેખરે આઇન્સ્ટાઇનના સિદ્ધાન્તો વાપરીને સાબિત કર્યું છે કે જો કોઈ તારકનું દ્રવ્યમાન સૂર્યના દ્રવ્યમાન કરતાં ત્રણુ ગણું કે તેથી વધારે હોય તો ગુરુત્વાકર્ષણની અસર નીચે તે તારક સંકોચાતાં છેવટે શ્યામલ વેહમાં પલટાઇ જશે, પણ જો તેનું દ્રવ્યમાન સૂર્યના દ્રવ્યમાનના કરતાં ત્રણુ ગણા કરતાં ઓછું હશે તો સંકોચાઇને પણ તે છેવટે ભારે ન્યુટ્રોન તારો બની જશે. જે તારામાં તેનાં પરમાણુઓ સંકોચનને કારણે એટલા ભીસમાં આવી જાય કે પરમાણુનાં વિજભારિત કણો પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોન એકબીજા સાથે ભટકાઈ એકબીજાનો વીજભાર હણી લે અને વિજભારરહિત ન્યુટ્રોનમાં ફેરવાઇ જાય તે તારો ન્યુટ્રોન તારો કહેવાય છે. હવે સૂર્ય કરતાં ત્રણ ગણા કે તેથી વધુ વજન ધરાવતા તારાઓ તો ઘણા છે. એટલે પ્રોફેસર ચંદ્રશેખરનાં આ પરીણામ પછી નિસર્ગમાં શ્યામલ વેહનાં અસ્તિત્વ વિષેની સંભાવના ખૂબ વધી ગઇ છે અને તેથી જ છેલ્લા દાયકામાં વૈજ્ઞાનિકો અને ખગોળશાસ્ત્રીઓનું આ વિષય તરફ ખાસ ધ્યાન કેન્દ્રિત થયું છે.

આ શ્યામલ વેહમાંથી પ્રકાશ તો બહાર નીકળે નહિ. તે જ રીતે તેમાંથી રડીઓ-મોજા પણ બહાર નીકળી શકે નહિ. આપણે અહીથી મોકલેલ પ્રકાશ કે રેડીઓ મોજા પણ તેને અથડાઇને પાછાં ફરી શકે નહિ. પણ અંદર ગરકી જાય. તો પછી આવા શ્યામલ વેહનું અસ્તિત્વ હોય તો તે 'અવલોકન'થી કેમ સાબિત કરવું આ એક મોટો પ્રશ્ન છે. શ્યામલ વેહની વિશેષતા તેના પ્રબળ ગુરુત્વાકર્ષણમાં છે. તેથી તેના ગુરુત્વાકર્ષણની અસર અવલોકીને શ્યામલ વેહનું અસ્તિત્વ ચકાસી શકાય.

આવા કોઇ શ્યામલ વેહની પાસેથી એકાદ તારક પસાર થાય તો તે તારક ઉપર બે પ્રકારની અસર ઉભી થાય. એક તો શ્યામલ વેહના પ્રબળ ગુરુત્વાકર્ષણ નીચે તે તારક શ્યામલ વેહનો જાણે ઉપગ્રહ બની જાય. એટલે કે તે તારક અને શ્યામલ વેહ મળીને એક જોડીઓ તારો બને; પણ આ જોડીઆ તારાનો એક જ તારક નજરે દેખાય, બીજો દેખાય નહિ ! બીજી અસર એ થાય કે તારક શ્યામલ વેહની પ્રમાણમાં વધુ નજીકથી પસાર થાય તો તારકમાંથી પદાર્થ વાયુ અને રજના રૂપમાં શ્યામલ વેહમાં પડવા લાગે અને તેમાં શોષાવા લાગે. ગણતરી કરતાં માલુમ પડયું છે, કે શ્યામલ વેહના પ્રબળ ગુરુત્વાકર્ષણને કારણે તેની અંદર પડતી આ વાયુરજ ખૂબ જ વેગથી ધસતી રહે છે. અને તેના જુદાજુદા ભાગો વચ્ચે જાણે કે શ્યામલ વેહની અંદર ગરકી જવા માટે હરીફાઈ જામતી હોય તેવી સ્થિતિ ઉત્પન્ન થાય. જેમ મોટા શહેરમાં ચાર રસ્તા ઉપર આગળ વધવા માગતાં મોટર, બસ, રીક્ષા વગેરેને કારણે ટ્રાફિક જામ થઈ જાય છે તેવો જાણે કે શ્યામલ વેહમાં ધસતા વાયુરજમાં ટ્રાફિક જામ થઈ જાય છે. પરિણામે વાયુનું તાપમાનં અનેક ગણું વધી જાય અને તેમાથી x-કિરણો γ-કિરણો અને થોડો દશ્ય પ્રકાશ પણ નીકળવા લાગે આને લીધે શ્યામલ વેહ ઝાંખા તારા જેવો 'દેખાય'

ઉપરની ચર્ચા ઉપરથી જણાશે કે શ્યામલ વેહની શકયતા તપાસવા જોડી આ તારાઓનું અવલોકન કરવું જોઈએ. તેમાંયે જે જોડી આ તારામાંથી x-કિરણો કે γ-કિરણો નીકળતાં હોય તથા તેમનો ઝાંખો લાગતો તારો સુર્યના દ્રવ્યમાનના ત્રણ ગણા કરતાં વધુ દ્રવ્યમાનવાળો જણાય તેવા જોડીઆ તારા તરફ ધ્યાન કેન્દ્રિત કરવું જોઇએ. અત્યારે બ્રહ્મમંડલ, વીણા તથા મિથુનમાં આવેલા જોડીઆ તારકો તરફ આ કારણોસર ધ્યાન કેન્દ્રિત થયેલું છે.

વળી અવકાશમાંથી x-કિરણો જે જે તારકોમાંથી આવી રહ્યાં છે તથા તેમાંના જે જોડીઆ હોવાને કારણે રૂપવિકારી દેખાય છે એટલે કે જેનું તેજ વધ-ઘટ થયા કરે છે તેવા હંસ, તથા વૃશ્ચિક ગુચ્છમાં આવેલાં x-કિરણ સ્રોત તરફ પણ આ દષ્ટિએ અવલોકનો કેન્દ્રિત થયાં છે. હંસ તારકગુચ્છમાં આવેલાં x-કિરણ સ્રોત જે હંસ x-I (cygnus x-I) ના શાસ્ત્રીય નામથી ઓળખાય છે ત્યાં શ્યામવ વેહ હોવાની સંભાવના વધારે લાગે છે; પણ ગણિતનું આ રમકડું નિસર્ગમાં પણ અસ્તિત્વ ધરાવે છે તેની ખાત્રી મેળવવા માટે હજૂ અવલોકનો થઇ રહ્યાં છે. જ્યારે સ્પષ્ટ ખાતરી થાય તેવાં થશે ત્યારે એ બનાવ વિજ્ઞાન અને સમગ્ર માનવજ્ઞાન માટે એટલો બધો મહત્વનો ગણાશે કે આપણાં દૈનિક છાપાંઓને પણ તેની નોંધ લેવી પડશે. માનવીની જિજ્ઞાસા-વૃત્તિ સતેજ કરતી આ ગાણિતિક કલ્પનાનો જવાબ નિસર્ગ છેવટે 'હા' માં આપે છે કે 'ના' માં તેની જિજ્ઞાસા વાચકના મનમાં જાગૃત થાય એટલે આ લેખનો હેતુ સર્યો ગણાય.