9. સુપરનોવા

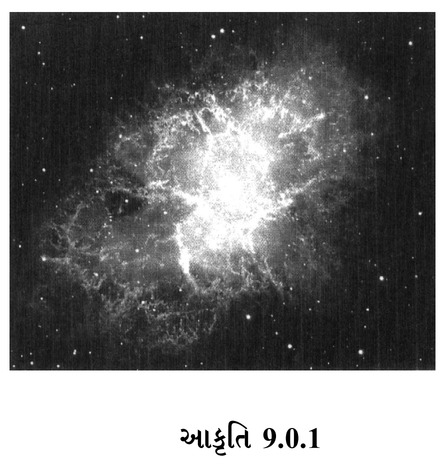
9.0 પ્રાસ્તાવિક

લેટિન ભાષામાં 'નોવા (Nova)' શબ્દનો અર્થ 'નવો' છે. આકાશમાં નવા પ્રકાશિત તારાઓ માટે 'નોવા' શબ્દ વપરાય છે. આના આગળનું વિશેષણ 'Super (સુપર)' સામાન્ય નવા પ્રકાશિત તારાઓ કરતાં ખૂબ જ પ્રકાશિત નવા તારાઓ માટે વપરાય છે. સ્વીસ ખગોળશાસ્ત્રી અને ખગોળભૌતિકશાસ્ત્રી ફ્રિટ્ઝ ઝ્વિકીએ (Fricz Zwicky) 'સુપરનોવા' શબ્દ પહેલવહેલો વાપરેલો અને ઈ.સ. 1926માં લખાણમાં છપાયેલો. કોઈએ 'સુપરનોવા' જોયો છે ? કોઈ કોઈ વખત નસીબદાર લોકો તારાને સુપરનોવા બનતો જોઈ શક્યા છે. એમાંયે નરી આંખે સુપરનોવા જોવાનું ઘણા ઓછાને મળે છે. છેલ્લા 1000 વર્ષમાં નરી આંખે જોઈ શકાય તેવા દેખાયેલા સુપરનોવા ટેબલ 9.0.1 માં આપ્યાં છે. તારામંડળોમાં સુપરનોવા આપણે દૂરબીનોથી જોઈ શકી છીએ અને તે સુપરનોવાને વર્ષ અને અનુક્રમે જે પ્રમાણે દેખાય તે પ્રમાણે અંગ્રેજીના મૂળાક્ષરના અક્ષરથી દર્શાવીએ છીએ. દા.ત. 1987માં સૌથી પહેલા દેખાયેલા સુપરનોવાને SN 1987A થી દર્શાવીએ છીએ. જ્યારે દૂરબીનની મદદ વગર દેખાયેલા સુપરનોવા ફક્ત વર્ષથી દર્શાવ્યા છે.

ટેબલ 9.0.1

વર્ષ	તારામંડળ	અંતર (પ્રકાશવર્ષ)
SN 1006	લુપસ (Lupius (wolf))	7,200
SN 1054	ટોરસ (Taurus (bull))	6,500
SN 1181	કેસીઓપીઆ (Cassiopeia)	8,500
SN 1572	કેસીઓપીઆ (Cassiopeia) આ તારો ટાયકો (Tycho) તરીકે ઓળખાય છે.	8,000
SN 1600	ઑફાયુક્સ (Ophiuchus) આ તારો કેપલર (Kepler) તરીકે ઓળખાય છે.	14,000

ચીનના ઈતિહાસમાં સુંન્ગ રાજવંશના (Sung) સમયમાં 4 જુલાઈ 1054 માં નવો તારો દેખાવાની અને તેના દેખાવાનું બંધ થવાની નોંધ ચીનના અને જાપાનના ઈતિહાસમાં છે. આખરે બે વર્ષ પછી દેખાતો બંધ થયેલો. નોંધ ઉપરથી જે જગ્યાએ સુપરનોવા દેખાયેલો તે જગ્યાએ નરી આંખે આપણે કંઈ જોઈ શકતા નથી, પણ દૂરબીનથી જોતાં આકૃતિ 9.0.1માં બતાવ્યા પ્રમાણે ઘણા બધા રેસાઓ વાદળોમાંથી બહાર નીકળતા હોય તેવું લાગે છે. આનો આકાર કરચલા જેવો હોઈને ખગોળશાસ્ત્રીઓ તેને અંગ્રેજીમાં 'ક્રેબ નેબ્યુલી (Crab Nebule)' તરીકે ઓળખે છે. આ આપણાથી 6500 પ્રકાશવર્ષ દૂર છે, આથી ચાઈનીઝ લોકોએ ઈ.સ. 1054માં જોયેલું તે 7500 વર્ષ પહેલાં બનેલું. જે આપણે આકૃતિ 9.0.1માં જોઈએ છીએ તે પણ આશરે 6500 વર્ષ પહેલાં બનેલું.

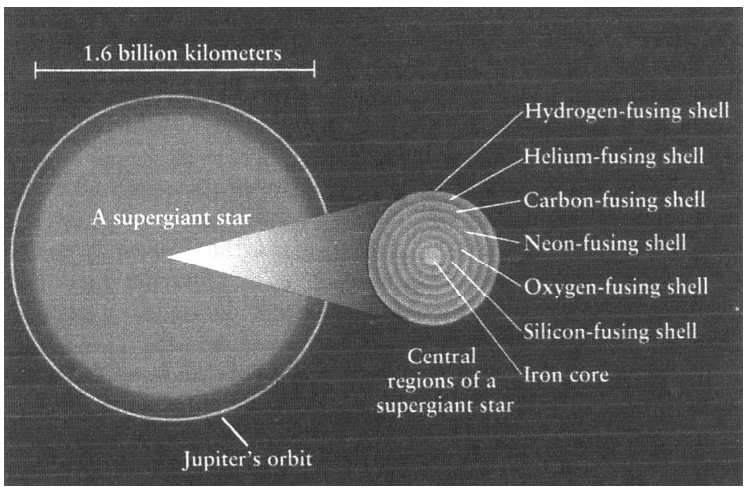


આકૃતિ 9.0.1

આજે ત્યાં શું ચાલી રહ્યું છે તે જાણવા માટે આપણે 6500 વર્ષ રાહ જોવી પડશે. ઈ.સ. 1572માં ખગોળશાસ્ત્રી ટાયકો બ્રાહે (Tycho Brahe) અને ઈ.સ. 1604માં તેમના મદદનીશ અને ખૂબ જ જાણીતા ખગોળશાસ્ત્રી જોહાન્નિસ કેપ્લરે (Johannes Kepler) પણ સુપરનોવા જોયેલા. આ બધાથી પહેલાં ઈ.સ. 1006માં પણ એક તારો સુપરનોવા બનેલો. સામાન્ય રીતે એવું મનાય છે કે દર પચાસ વર્ષે દરેક તારામંડળમાં એક તારો સુપરનોવા તારો બને છે. આપણી આકાશગંગામાં સૂર્યની જગ્યા એટલે કે આપણી જગ્યા એવી છે કે જ્યાંથી આપણી આકાશગંગામાં બનતું બધુ આપણે જોઈ શકતા નથી.

9.1 સુપરનોવા

સૂર્યથી ઘણા વધારે દ્રવ્યવાળા ($20\,M_\odot$) તારાઓમાં હાઈડ્રોજનનું બળવાનું, હીલિયમ બળવાનું, કાર્બન બળવાનું, ઓક્સિજન બળવાનું અને સિલિકોન બળવાનું પુરૂ થાય ત્યારે હાર્દમાં આયર્ન રહે છે. હાર્દમાં જે કોઈ તત્ત્વો બનેલાં તે જેમ ડુંગળીમાં પડ ઉપર પડ હોય છે તેમ એક ઉપર બીજું, બીજા ઉપર ત્રીજું તે રીતે બળ્યા વગર રહેલાં તત્ત્વો આકૃતિ 9.1.1માં બતાવ્યા પ્રમાણે રહે છે. હાર્દમાં રહેલું આયર્ન બાળી શકાતું નથી અને બળતું પણ નથી.

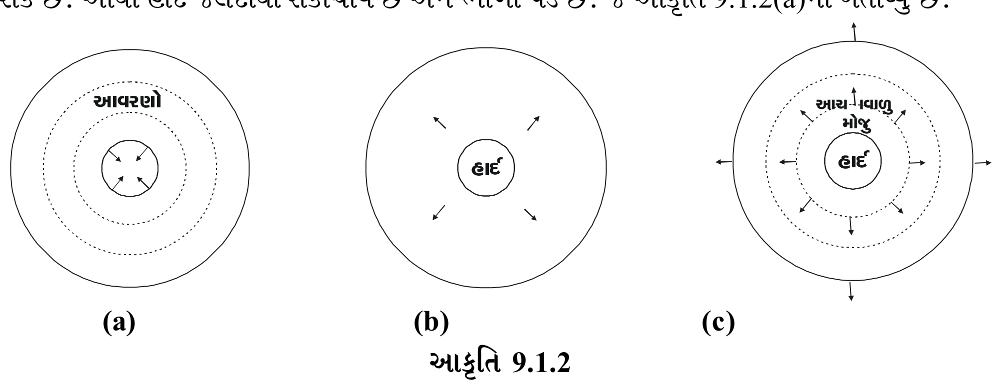


આકૃતિ 9.1.1.

જ્યારે કોઈ તારાના હાર્દમાં સૂર્યના દ્રવ્ય જેટલું આયર્ન હોય, ત્યારે માની લેવું કે તે તારાનો અંત નજીક છે. આ તારાના હાર્દમાં અણુકેન્દ્રીય પ્રતિક્રિયા થતી ન હોઈને, ગુરુત્વાકર્ષણના કારણે હાર્દ સંકોચાઈ જાય છે અને ગરમ થયે જાય છે. આ ગરમીના કારણે આયર્નના અણુઓના હીલિયમના અણુઓમાં ટુકડા થાય છે.

$$^{56}Fe \rightarrow 13\,^{+}He + 4n\ ,$$

જ્યાં n ન્યુટ્રોન છે. હાર્દ ગાઢ થવાના કારણે ઋણ વિદ્યુતભારવાળા ઈલેક્ટ્રોન ધન વિદ્યુતભારવાળા પ્રોટોન જોડે ખૂબ જ દબાય છે, આથી બંને ભેગા થઈને ન્યુટ્રોન બને છે. જેમ જેમ ન્યુટ્રોનની સંખ્યા વધતી જાય તેમ તેમ શ્વેત વામન તારાઓમાં ઈલેક્ટ્રોનના અવનતિ દબાણથી (degenerate pressure) શ્વેત વામન તારાના સંકોચાવાનું અટકતું તે જ રીતે ન્યુટ્રોનના અવનતિ દબાણથી હાર્દનું સંકોચાવાનું અટકે છે. આ બધા ન્યુટ્રોનો આયર્નના અણુઓ કરતાં ઓછી જગ્યા રોકે છે. આથી હાર્દ જલદીથી સંકોચાય છે અને ભાંગી પડે છે. જે આકૃતિ 9.1.2(a)માં બતાવ્યું છે.



આકૃતિ 9.1.2

આની સાથે જ ન્યુટ્રોનોની ઘનતા વધતાં ન્યુટ્રોનોનું અવનતિ દબાણ હાર્દને તૂટી પડતું રોકે છે, એટલું જ નહિ પણ હાર્દને પાછું ધકેલે છે. જે આકૃતિ 9.1.2(b) માં બતાવ્યું છે. આ બધું ખૂબ જ ઝડપથી સેકન્ડોમાં બને છે જે ટેબલ 9.1.1.માં આપ્યું છે. આવરણોને આ બધું શું થઈ રહ્યું છે તેનો ખ્યાલ નથી, એને એકદમ જ અંદરથી બહાર જવાનું દબાણ લાગે છે. ભૌતિકશાસ્ત્રીઓ આને આંચકાવાળું મોજું (Shock wave) કહે છે જે આકૃતિ 9.1.2(c)માં આપેલું છે. આંચકાવાળું મોજું એ ચાલતો પૃષ્ઠભાગ છે કે જેની બંને બાજુએ દબાણનો ખૂબ જ મોટો તફાવત હોય છે જ્યારે સામાન્ય મોજાઓમાં બંને બાજુના દબાણો સરખાં હોય છે. આ દબાણના મોટા તફાવતના કારણે ઓછા દબાણવાળી દિશામાં મોજું ખૂબ જ ઝડપથી જાય છે. હાર્દમાં શરૂ થયેલું આંચકાવાળું મોજું સિલિકોન, ઑક્સિજન, કાર્બન, હીલિયમ અને હાઈડ્રોજનના આવરણોને ગરમી આપીને અણુઓની પ્રતિક્રિયા શરૂ કરી દે છે. આના કારણે ઘણાં બધાં નવાં તત્ત્વો આવરણોમાં ઉત્પન્ન થાય છે. સોનું, ચાંદી, જસત, શીશું, યુરેનિયમ વિગેરે તત્ત્વો આ સમય દરમિયાન જ બને છે. આ તત્ત્વો પૃથ્વી ઉપર પણ મળે છે. આનો અર્થ એ થાય છે કે સૂર્યમંડળ, પૃથ્વી અને આપણા શરીરમાં રહેલાં દ્રવ્યો મહાપ્રચંડ તારાનો ભાગ હતાં અને આ મહાપ્રચંડ તારો સુપરનોવા બનીને મૃત્યુ પામ્યો છે.

સાથે સાથે આ આંચકાવાળાં મોજાંઓ આ બધાં આવરણોને બહારના વાતાવરણમાં ફૂંકી મારે છે. આ ઘટનાને તારો ધડાકા સાથે ફૂટ્યો કે તારો સુપરનોવા બન્યો તે તરીકે ઓળખીએ છીએ. કુદરતની આ અતિઉગ્ર ઉથલપાથલમાં, તારાની પ્રકાશિતતા અબજોગણી થાય છે. જે તારામંડળનો આ તારો હોય તે તારામંડળના બધા તારાઓના પ્રકાશ કરતાં આ તારો વધારે પ્રકાશ આપે છે. આ બધું ઘણા દિવસો ચાલે છે અને ધીરે ધીરે બે વર્ષમાં આ તારાનો પ્રકાશ સામાન્ય તારા જેવો બની જાય છે.

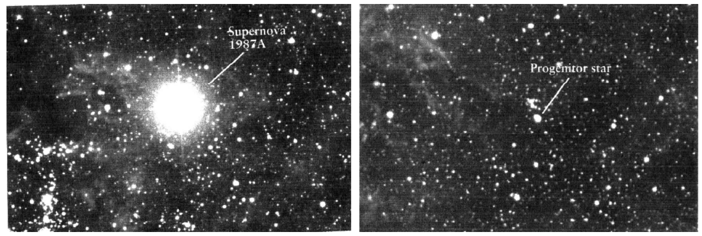
ટેબલ 9.1.1

તબક્કો	**હાર્દનું ઉષ્ણતામાન** (k)	**હાર્દના દ્રવ્યની ઘનતા (કિલો/મી^{3})**	**સમય**
હાઈડ્રોજનનું બળવું	4×10^7	5×10^3	સિત્તેર લાખ વર્ષ
હીલિયમનું બળવું	2×10^8	7×10^5	સિત્તેર લાખ વર્ષ
કાર્બનનું બળવું	6×10^8	2×10^8	600 વર્ષ
નીયોનનું બળવું	1.2×10^9	4×10^9	1 વર્ષ
ઑક્સિજનનું બળવું	1.5×10^9	10^{10}	છ મહિના
સિલિકોનનું બળવું	2.7×10^9	3×10^{10}	1 દિવસ
હાર્દનું ભાગી પડવું	5.4×10^9	3×10^{12}	1/4 સેકન્ડ
હાર્દનું પાછું ફેંકાવું	2.3×10^{10}	4×10^{15}	એક સહસ્ત્રાંસ સેકન્ડ
ધડાકો થવો (સુપરનોવા)	$\approx10^9$	બદલાતી	10 સેકન્ડ

સૂર્યના દ્રવ્યથી 25 ગણા દ્રવ્યવાળા તારાની ($25\,M_\odot$) ઉત્ક્રાન્તિના તબક્કા દરમિયાન હાર્દનું ઉષ્ણતામાન, હાર્દના દ્રવ્યની ઘનતા અને તબક્કાનો સમય સુપરનોવાના સૈદ્ધાંતિક નમૂના ઉપરથી ગણતરી કરીને મેળવેલાં પરિણામો છે.

9.2 સુપરનોવા SN 1987A

જે તારામંડળમાં સુપરનોવા હોય તે તારામંડળના જેટલી જ સુપરનોવાની પ્રકાશિતતા હોઈને, દર વર્ષે દૂર આવેલા તારામંડળોમાં દૂરબીનની મદદથી ઘણા સુપરનોવા જોઈ શકાય છે. દક્ષિણના આકાશમાં ફેબ્રુઆરી 23, 1987માં યુનિવર્સિટી ઑફ ટોરોન્ટોના ખગોળશાસ્ત્રી ઈઆન શેલ્ટને (Ian Shelton) એક પ્રકાશિત તારો જોયો જે આકૃતિ 9.2.1(a) માં આપ્યો છે. આ પ્રકાશિત તારો સુપરનોવા હતો અને તે વર્ષમાં પહેલો શોધાયેલો હોઈને તે SN 1987A તરીકે ઓળખાય છે.



(a) (b)

આકૃતિ 9.2.1

આ સુપરનોવા ચિલીની લાસ કૅમ્પનાસ ઑબ્ઝર્વેટરીમાં (Las Companas Observatory) શોધાયો હતો. આ સુપરનોવા આપણા પડોશી તારામંડળ લાર્જ મેજેલેનિક ક્લાઉડ (Large Magellanic Cloud, LMC) જે આપણાથી 1,60,000 પ્રકાશવર્ષ દૂર છે, તેમાં આવેલો છે. પહેલાં 85 દિવસ આ સુપરનોવાની તેજસ્વિતા વધતી રહી પણ પછી ઘટતી રહી. અત્યાર સુધીના ઘણા સુપરનોવાની તેજસ્વીતાના દશમા ભાગની તેજસ્વીતા SN 1987A ની હતી.

આ સુપરનોવા શોધાયા પછી ચાર દિવસે નક્કી થયું કે સેન્ડુલીક (Sanduleak) તારો સુપરનોવા બન્યો છે. આકૃતિ 9.2.1(b) માં સેન્ડુલીક તારો બતાવ્યો છે. સેન્ડુલીકનું દ્રવ્ય સૂર્યના દ્રવ્ય કરતાં 20 ગણું હતું અને વ્યાસ પણ સૂર્ય કરતાં 15 ગણો હતો. તે અગાઉ વાદળી (B3) મહાપ્રચંડ તારો હતો જેનું ઉષ્ણતામાન 22,000 K હતું.

ન્યુટ્રિનો (Neutrino) મૂળકણ છે જેને કોઈ દ્રવ્ય નથી અને વિદ્યુતનો ભાર (charge) પણ નથી. પ્રકાશની ગતિએ મુસાફરી કરે છે અને જરૂર પડે ઊર્જા લઈ જાય છે. સુપરનોવા દેખાયો તે પહેલાં ત્રણ કલાક પહેલાં ત્રણ ન્યુટ્રિનો વેધશાળાઓએ ન્યુટ્રિનોના આગમનની નોંધ લઈને ન્યુટ્રિનો ખગોળશાસ્ત્રની શરૂઆત કરી.

સેન્ડુલીકનું કદ, વ્યાસ વગેરે જોતાં સુપરનોવા બન્યા પછી હાર્દ સંકોચાતા સંકોચાતાં ન્યુટ્રોન તારો બનવો જોઈએ. ન્યુટ્રિનોની માહિતી ઉપરથી એટલું નક્કી કરી શકાય કે તારાના મધ્યે કોઈ વ્યવસ્થિત પદાર્થ બન્યો છે, ખગોળશાસ્ત્રીઓ સંકોચાયેલું હાર્દ સુપરનોવા બન્યો ત્યારથી શોધે છે, પણ હજુ સુધી મળ્યું નથી. હબલ અવકાશ દૂરબીન (Hubble Space Telescope, HST) પણ ઑગસ્ટ 1990થી નિયમિત ફોટાઓ પાડે છે પણ હજુ સુધી ન્યુટ્રોન તારો મળ્યાનો કોઈ પુરાવો નથી. ઘણાં બધાં કારણો વિચારાય છે.

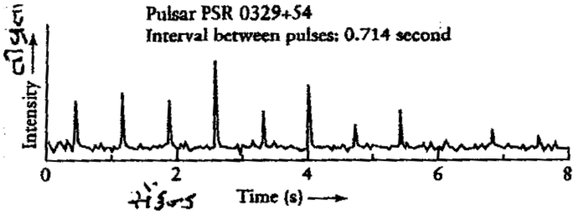
9.3 પલ્સાર (Pulsar)

વધારે દ્રવ્યવાળા તારાઓનું શું ? આવા તારાઓ આકાશમાં લઘુમતિમાં છે. સૂર્યના દ્રવ્ય કરતાં 60થી 70 ગણા દ્રવ્યવાળા ઘણા તારાઓ છે. ઈ.સ. 1965 સુધી ખગોળશાસ્ત્રીઓ એવું માનતા કે બધા તારાઓ શ્વેત વામન તારાઓ બનીને વિશ્વમાંથી અલોપ થઈ જશે. આકાશમાં ઘણા બધા શ્વેત વામન તારાઓ હોઈને અત્યાર સુધીના ઘણા બધા મરી ગયેલા તારાઓના મડદા તરીકે શ્વેત વામન તારાઓ ગણી શકાય. વધારે દ્રવ્યવાળા તારાઓ કોઈ પણ રીતે તેમનું દ્રવ્ય ખોઈને ચંદ્રશેખરની દ્રવ્યની 1.4 $M_{\odot}$ મર્યાદા નીચે આવીને શ્વેત વામન તારાઓ બનશે તેવું ખગોળશાસ્ત્રીઓ માનતા. ઈ.સ. 1930ની આસપાસ જે. રૉબર્ટ ઓપનહાયમર (J. Robert Oppernheimer) અને તેમના સહકાર્યકરોએ ન્યુટ્રોન તારાઓ (Neutron stars) અને શ્યામ પોલાણોને (Black holes) લગતા વિચારો વિકસાવેલા, પણ આ વિચારો શેખચલ્લીની કલ્પનાઓ માનીને કોઈએ ધ્યાન ન આપ્યું.

ઘણા બધા તારાઓને ગ્રહો છે અને આવા ગ્રહો ઉપર કદાચ આપણા જેવા માણસો રહેતા હશે. આ માણસો કેવા હશે અને આપણી સાથે કઈ રીતે વાતચીત કરશે તે કલ્પનાનો (કે નવલકથાઓનો) વિષય છે. ધર્મોના ધર્મગુરુઓને બીજા ગ્રહોમાં (સ્વર્ગમાં) રહેતા માનવીઓ જોડે સંબંધ છે તેવું ઘણા લોકો માને છે. આપણા ધર્મમાં પણ પૃથ્વીથી ઉપર સ્વર્ગ છે અને તેમાં બધા દેવો ઈન્દ્ર, બ્રહ્મા, વિષ્ણુ, મહેશ વિગેરે રહે છે તેવી કલ્પના છે. આ સ્વર્ગમાં રહેતા દેવો ભારતમાં આવે તો સંસ્કૃત ભાષામાં વાતો કરે તો કોઈનું કોઈ તેમને સમજનાર મળે, પણ જો તેઓ મેક્સિકોમાં ઉતરે અને સંસ્કૃતમાં વાતો કરે તો કોણ સમજે ? જેમ આપણે રેડિયો અને ટી.વી.ના તરંગો મોકલીએ છીએ તેમ બીજા તારાના ગ્રહો ઉપર રહેતા લોકો આપણને તરંગો દ્વારા સંદેશાઓ મોકલી શકે. આ બધા સંદેશાઓને મેળવવા માટે રેડિયો ટેલિસ્કોપ (Radio telescope) ઘણી બધી વેધશાળાઓમાં હોય છે, જે તારાઓ અને ગ્રહો ઉપરથી આવતાં રેડિયો મોજાંઓ પકડી શકે. ઑગસ્ટ 6, 1967ના દિવસે મુલાર્ડ રેડિયો ખગોળશાસ્ત્ર વેધશાળાના (Mullard Radio Astronomy Observatory) અનુસ્નાતક વિદ્યાર્થીની જોસેલીન બેલે (Jocelyn Bell) અવકાશમાંથી આવતા ખૂબ જ

નિયમિત ધબકારા શોધી કાઢ્યા.

આવા ધબકારા જ્યાંથી આવે છે તેને અંગ્રેજીમાં પલ્સાર (Pulsar) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. શરૂઆતમાં શોધાયેલા પલ્સારના ધબકારા આકૃતિ 9.3.1માં આપ્યા છે. આ ધબકારા ખૂબ જ નિયમિત છે પણ તીવ્રતા અનિયમિત છે. ધબકારાનો આવર્ત ખૂબ જ ટૂંકો 0.714 સેકન્ડ છે. આવાં મોજાંઓ આવે છે ક્યાંથી ? ઘણી બધી ચર્ચાઓ, ઉલટ તપાસ પછી નક્કી થયું કે આ મોજાંઓ ન્યુટ્રોન તારામાંથી આવે છે. આ ન્યુટ્રોન તારો છે શું ?



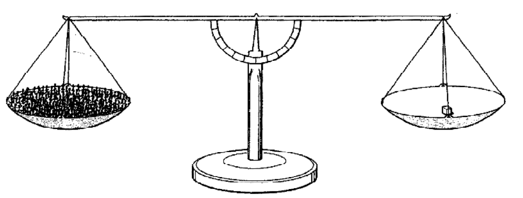
આકૃતિ 9.3.1

9.4 ન્યુટ્રોન તારાઓ

તારો સુપરનોવા બને તે પહેલાં તારાના હાર્દમાં ન્યુટ્રોન હોય છે. હાર્દના ઉપરનાં આવરણો તારો સુપરનોવા બનતાં જ ફૂંકી મારે છે. ફક્ત હાર્દ જ બચે છે અને આ હાર્દનો મુખ્ય ભાગ ન્યુટ્રોનનો જ છે. આથી આ તારાને 'ન્યુટ્રોન તારા' તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. શ્વેત વામન તારામાં સૂર્યના દ્રવ્યના 1.3 $M_\odot$ દ્રવ્યને પૃથ્વી જેટલા જ ગોળામાં દબાવીને ભરવામાં આવતાં શ્વેત વામન તારાના દ્રવ્યની ઘનતા ઘણી વધારે હોય છે. આ જ પ્રમાણે ન્યુટ્રોન તારામાં હાર્દનો રહી ગયેલો ભાગ જેનું દ્રવ્ય સૂર્યના દ્રવ્યથી 1.4 $M_\odot$ અને 3 $M_\odot$ વચ્ચે છે તેને ફક્ત 20 કિલોમીટર વ્યાસના ગોળામાં ભરવામાં આવે છે. આનો અર્થ એ થયો કે ન્યુટ્રોનના તારાનું કદ (size) મોટા શહેર જેટલું જ છે. આથી આ તારાને આકાશમાં શોધવો એ જરાયે સહેલું કામ નથી.

લાક્ષણિક (Typical) ન્યુટ્રોન તારાનું

દ્રવ્ય : 1.5 $M_\odot$, વ્યાસ : 20 કિમી (નાના શહેરની પહોળાઈ), ઘનતા : 10^{15} ગ્રામ/સેન્ટ^3,
ઉષ્ણતામાન : 10,000,000 K છે.



આકૃતિ 9.4.1

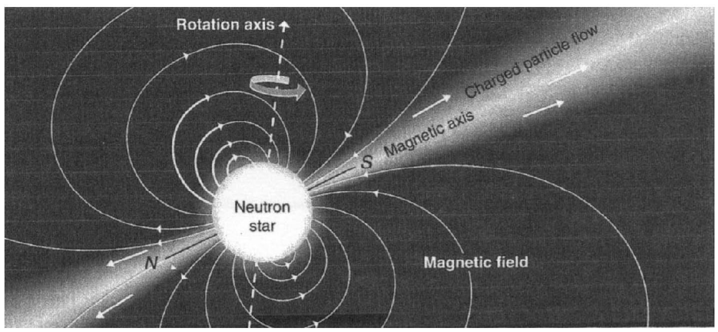
આકૃતિ 9.4.1માં બતાવ્યા પ્રમાણે ન્યુટ્રોન તારાના સાકરના ગાંગડા જેટલા દ્રવ્ય બરાબર પૃથ્વીનું કુલ દ્રવ્ય છે. આવી પ્રચંડ ઘનતાએ, ન્યુટ્રોનોને આથી વધારે નજીક દબાવી શકાય નહિ કારણકે ન્યુટ્રોનોનું અધ:પતિત દબાણ તારાને વધારે સંકોચાવા દેતું નથી.

ઈ.સ. 1968માં વેસ્ટ વિર્જિનિયાની (West Virginia, U.S.A.) નેશનલ રેડિયો એસ્ટ્રોનોમી ઑબ્સર્વેટરીના (National Radio Astronomy Observatory) ખગોળશાસ્ત્રીઓએ ક્રેબ નેબ્યુલાની મધ્યમાં પલ્સાર (Pulsar) શોધી કાઢ્યો. ઈ.સ. 1967 માં પલ્સાર શોધાયા પછી દુનિયાભરના ખગોળશાસ્ત્રીઓ પલ્સાર શું છે તેના વિષે ઘણા બધા વિચારો (કોઈ કોઈ તો તદ્દન વિચિત્ર) દર્શાવતા. પણ ક્રેબ નેબ્યુલાના મધ્યે પલ્સાર શોધાયા પછી આ બધા વિચારોની જરૂર જ ન રહી. પલ્સાર ક્રેબ નેબ્યુલામાં સુપરનોવાનો બાકી રહેલો અવશેષ છે. આથી જે તારો સુપરનોવા બન્યો તેનો કોઈ ભાગ જ પલ્સાર છે. ક્રેબ પલ્સારના દર 0.0309 સેકન્ડે ધબકારા નોંધાયા છે. દરેકને ખ્યાલ આવી ગયો કે શ્વેત વામન તારો દર સેકન્ડે 30 વખત ગોળ ગોળ ફરી ન શકે. આથી તારાના સુપરનોવા બન્યા પછી બળી ગયેલો ભાગ શ્વેત વામન તારો ન હોઈ શકે. આ ક્રેબ પલ્સારની શોધ પછી તારાઓ શ્વેત વામન તારાઓ વગર બીજા પ્રકારના તારાઓ બનીને પણ અલોપ થઈ શકે.

ન્યુટ્રોન તારો ફક્ત 20 કિલોમીટરની ત્રિજ્યાવાળો છે અને ખૂબ જ ઘનતાવાળો હોઈને ગમે તેટલી ઝડપથી

ગોળ ગોળ ફરે તો તુટી ન જાય. ભૌતિકશાસ્ત્રના કોણીય આવેગની સાચવણીના (Conservation of Angular Momentum) નિયમ પ્રમાણે ધીરે ધીરે ગોળ ફરતો પદાર્થ સંકોચાય તો તેની ગોળ ફરવાની ગતિમાં વધારો થાય. પ્રચંડ તારાનું કદ ઘણું હતું અને તે સંકોચાઈને ફક્ત 20 કિમીનો ગોળો બનતો હોઈને તેની ગોળ ફરવાની ગતિમાં ખૂબ જ વધારો થાય છે. આથી ન્યુટ્રોન તારો ખૂબ જ ઝડપથી ગોળ ફરે છે. વધુમાં વધુ એક સેકન્ડમાં ગોળ ફરી રહે અથવા એથીયે ઓછા સમયમાં.

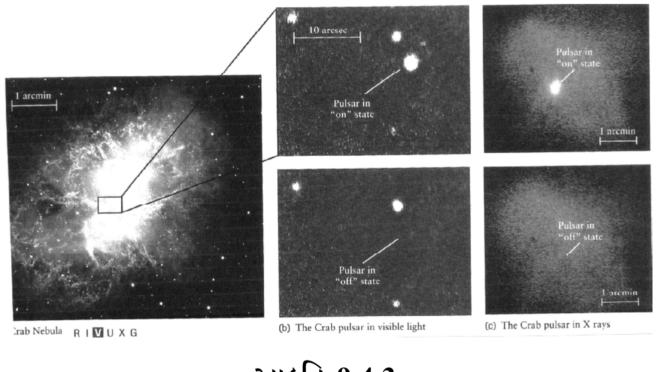
ન્યુટ્રોન તારાનું ચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્ર પણ ખૂબ જ તીવ્ર છે. સામાન્ય સૂર્ય જેવા તારાઓનું ચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્ર નબળું હોય છે કારણકે લોહચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્ર તારાની સપાટી જે કરોડો (કિલોમીટર)^2 ઉપર પથરાયેલી છે. ન્યુટ્રોન તારો જ્યારે ફક્ત 20 કિલોમીટર ત્રિજ્યાનો ગોળો બને છે ત્યારે અગાઉનું જ ચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્ર એકદમ નાની બનેલી ન્યુટ્રોનના તારાની સપાટી ઉપર જ પથરાયેલું હોઈને તે ખૂબ જ તીવ્ર હોય છે. આથી ચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્રની તીવ્રતા અગાઉના કરતાં કરોડો ગણી હોય છે. ઘણા ન્યુટ્રોન તારાઓનું લોહચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્ર $10^{15}G$ ની શક્તિવાળું હોય છે, અહીંયાં G એ લોહચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્રનો એકમ છે. આકૃતિ 9.4.2માં બતાવ્યા પ્રમાણે ન્યુટ્રોન તારાની લોહચુંબકીય ધરી ન્યુટ્રોન તારાની ભ્રમણધરી સાથે ખૂણો બનાવે છે.



આકૃતિ 9.4.2

આથી જ્યારે ન્યુટ્રોન તારો ચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્રમાં ખૂબ જ ઝડપથી ફરે, ત્યારે ન્યુટ્રોન તારાની સપાટી ઉપર વિદ્યુત પ્રભાવક્ષેત્ર ઊભું થશે. આ ઈલેક્ટ્રોન અને પોઝીટ્રોન ઊભા કરવા ઊર્જા આપશે અને પ્રચંડ વિદ્યુતક્ષેત્ર આ કણોને વક્ર લોહચુંબકીય પ્રભાવક્ષેત્રમાં આકૃતિ 9.4.2.માં બતાવ્યા પ્રમાણે ધકેલશે. જેમ ન્યુટ્રોન ગોળ ફરશે, તેમ તેની સાથે આ શંકુ પણ ગોળ ફરશે. આથી જો કોઈ યોગ્ય દિશામાં હોય તો જ્યારે જ્યારે શંકુ તે દિશામાંથી પસાર થશે ત્યારે ત્યારે ઊર્જાનાં મોજાં અને વીજળીનો ઝબકારો જોશે.

આ સમાચાર સાંભળીને એરિઝોનાની (Arizonus, U.S.A.) સ્ટુઅર્ટ (Stewart) વેધશાળાના ખગોળશાસ્ત્રીઓની ટીમે પલ્સારમાંથી આવતો ઝબકારો શોધવા પ્રયત્ન કર્યો. તેમણે આકૃતિ 9.4.3(a)માં બતાવેલા કરચલા નિહારિકાના ક્રેબ નેબ્યુલ (Crab Nebule) કેન્દ્રને નજરમાં રાખીને દૂરબીન ગોઠવીને આવતા પ્રકાશનો જુદી જુદી તરંગલંબાઈએ અભ્યાસ કર્યો. તેમના આશ્ચર્ય અને આનંદ વચ્ચે કરચલા નિહારિકાના મધ્યે કોઈ તારો ઝબકારા મારે છે. આકૃતિ 9.4.3(b) અને (c)માં બતાવ્યા પ્રમાણે દર્શનક્ષમ (Visible) તરંગલંબાઈએ અને X-રે તરંગલંબાઈ એ એક સેકન્ડમાં 30 વખત ચાલુ અને બંધ થાય છે. આ જ પ્રમાણે રેડિયો મોજાંની તરંગલંબાઈએ પણ છે.



આકૃતિ 9.4.3

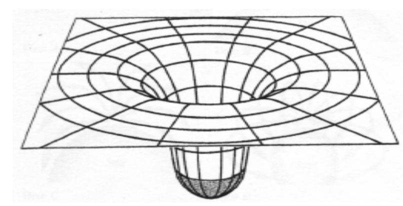
1968થી અત્યાર સુધીમાં આકાશમાં જુદી જુદી જગ્યાએ પ્રસરેલા 1300થી વધારે પલ્સારો શોધાયા છે અને ઘણા બધા શોધાશે. સુપરનોવા ઈતિહાસની શરૂઆતથી જ છે. ટાયકો બ્રાહે SN1572 અને કેપ્લર SN1604 સુપરનોવાની જગ્યાએ હજુ સુધી પલ્સાર મળ્યા નથી. સુપરનોવાની બધી જાતોના અવશેષો ન્યુટ્રોન તારાઓ નથી.

9.5 શ્યામ પોલાણ (બ્લેક હૉલ, Black Hole)

શ્વેત વામન અને ન્યુટ્રોન તારાઓ આપણે જોયા. સુપરનોવા બન્યા પછી તારાના બળેલા ભાગમાં રહેલા હાર્દનું દ્રવ્ય સૂર્યના દ્રવ્યથી ત્રણ ગણું હોય તો આ રહેલો ભાગ શ્વેત વામન કે ન્યુટ્રોન તારો બની શકતો નથી. શ્વેત વામન તારાઓમાં અધઃપતિત ઈલેક્ટ્રોનોનું દબાણ અને ગુરુત્વાકર્ષણ બળ સરખાં થતાં શ્વેત વામન તારાઓ સંકોચાતા નથી. આ જ પ્રમાણે ન્યુટ્રોન તારાઓમાં પણ અધઃપતિત ન્યુટ્રોનોનુ દબાણ અને ગુરુત્વાકર્ષણ બળ સરખાં થતાં ન્યુટ્રોન તારાઓ સંકોચાતા નથી.

મહાપ્રચંડ તારાઓમાં પણ ઘણા વધારે દ્રવ્યવાન તારાઓ સુપરનોવા બનશે. જેમના હાર્દનું દ્રવ્ય સૂર્યના દ્રવ્ય કરતાં ત્રણ ગણાથી વધારે હોય તેવા હાર્દનું શું થશે ? આ હાર્દ ગુરુત્વાકર્ષણ બળના કારણે સંકોચાતું જશે અને આ સંકોચાવાની ક્રિયાને શ્વેતવામન તારાઓ અને ન્યુટ્રોન તારાઓની જેમ રોકનાર કશું જ નથી.

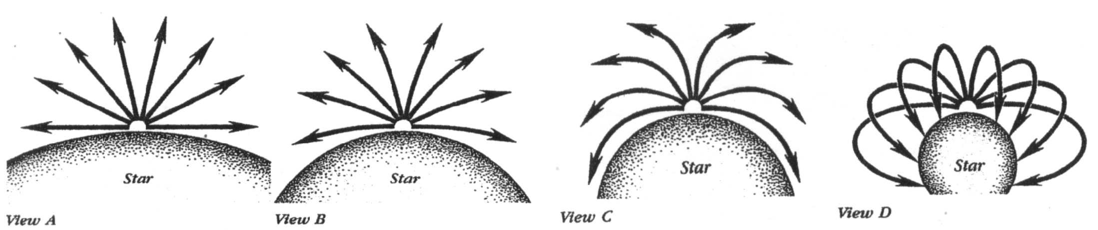
ગુરુત્વાકર્ષણનો નિયમ : $F = \frac{GMm}{r^2}$. કોઈપણ બે પદાર્થો (કે દ્રવ્યો) એકબીજાને F બળથી આકર્ષશે. આ F બળ દરેક પદાર્થોના દ્રવ્યો M અને mના પ્રમાણસર હોય છે અને બંને પદાર્થો વચ્ચેના અંતર r ના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. ન્યૂટનના ગતિના નિયમ અને આ નિયમનો ઉપયોગ કરીને અઢારમી અને ઓગણીસમી સદીઓના ખગોળશાસ્ત્રીઓ ગ્રહો, ઉપગ્રહો, ધૂમકેતુઓ વિગેરેની ભ્રમણકક્ષાઓ સચોટ રીતે ગણી શકેલા. આઈનસ્ટાઈનનો સાપેક્ષવાદનો સિદ્ધાંત ગુરુત્વાકર્ષણ કઈ રીતે કામ કરે છે તે માટેનો છે. તેમાં ન્યુટનના નિયમની જેમ ગુરુત્વાકર્ષણને બળ તરીકે ગણવામાં આવતું નથી. ગુરુત્વાકર્ષણને સ્થળ-સમયના વળાંકમાં (space- time curvature) જ દર્શાવવામાં આવે છે. જેમ ગુરુત્વાકર્ષણનું ક્ષેત્ર વધારે અસરકારક તેમ સ્થળ-સમયનો વળાંક વધારે. ગુરુત્વાકર્ષણની વળાંક ઉપરની અસર સમજવા માટે આકૃતિ 9.5.1 નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.



આકૃતિ 9.5.1

આકૃતિ 9.5.1 સૂર્ય કે તારાની આસપાસ સ્પેસ કેવી વળેલી છે તે દર્શાવે છે. સૌથી નીચેનો ભાગ તારાની જગ્યા બતાવે છે. તારાની સપાટીની ઉપર જગ્યા વધારેમાં વધારે વળાંકવાળી છે. તારાથી ઘણે દૂર જ્યાં ગુરુત્વાકર્ષણ બળ ઘણું ઓછું છે ત્યાં સ્થળ-સમય એકદમ સપાટ છે, વળાંક નથી.

એચ-આર આલેખના મહાપ્રચંડ તારાઓ સુપરનોવા બન્યા પછી બળેલા ભાગના હાર્દનું દ્રવ્ય સૂર્યના દ્રવ્યથી ત્રણ ગણાથી વધારે હોય તેવા હાર્દનું દ્રવ્ય ગુરુત્વાકર્ષણના બળથી સંકોચાશે. સુપરનોવા બન્યા પહેલાં મહાપ્રચંડ તારાનું કદ પ્રમાણમાં વધારે હોઈને ગુરુત્વાકર્ષણ બળની તીવ્રતા ઓછી છે. સાપેક્ષવાદની રીતે જોઈએ તો જગ્યા-સમયની રેખાઓ લગભગ સીધી છે જે આકૃતિ 9.5.2(a) માં બતાવ્યું છે. સુપરનોવા ગુરુત્વાકર્ષણ બળની તીવ્રતા વધવાની શરૂઆત હોઈને સ્થળ-સમયની રેખાઓ વળાંક લેતી દેખાય છે.



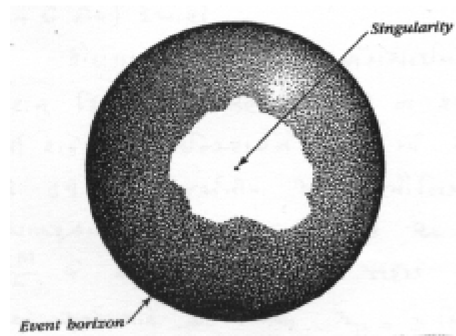
(a) **(b)** **(c)** **(d)**

આકૃતિ 9.5.2

બીજી રીતે કહીએ તો તારાના હાર્દમાંથી નીકળેલાં પ્રકાશનાં કિરણો સીધી રેખામાં રહેવાને બદલે આકૃતિ 9.5.2ના (b) અને (c)માં બતાવ્યા પ્રમાણે વળેલાં છે. હાર્દ ગુરુત્વાકર્ષણ બળના કારણે સંકોચાતું જશે અને આ સંકોચાવાની ક્રિયાને

કશું જ રોકનાર નથી, ગુરુત્વાકર્ષણ બળ એટલું બધું વધી જશે કે સ્થળ-સમયની રેખાઓ આકૃતિ 9.2.5(d) માં બતાવ્યા પ્રમાણે ખૂબ જ વળેલી હશે. ટૂંકમાં ગુરુત્વાકર્ષણ બળના કારણે હાર્દ એટલું બધું સંકોચાશે કે હાર્દમાંથી પ્રકાશનું કિરણ તારામાંથી બહાર નીકળી ન શકે, તો કશું જ બહાર નીકળી શકે નહિ. સાહિત્યની ભાષામાં કહીએ તો તારો વિશ્વમાંથી અદૃશ્ય થઈ ગયો !!

હાર્દ એટલું સંકોચાશે કે જેથી તેમાંથી પ્રકાશનું કિરણ પણ બહાર નીકળી ન શકે ? આઈન્સ્ટાઈને 1915માં સાપેક્ષવાદનો નિયમ આપ્યો અને 1916માં જર્મન ખગોળભૌતિકશાસ્ત્રી (Schwarzschild) સ્વાર્ઝશિલ્ડે ગણી બતાવ્યું કે આ તારાની ત્રિજ્યા $R_{Sch} = \frac{2MG}{c^2}$ છે. અહીંયા G ગુરુત્વાકર્ષણનો અચળ છે, M તારાનું દ્રવ્ય છે અને c પ્રકાશની ગતિ છે. આ ત્રિજ્યા સ્વાર્ઝશિલ્ડ ત્રિજ્યા તરીકે ઓળખાય છે. જે તારાની ત્રિજ્યા R_{Sch} કરતાં ઓછી હોય તે તારો શ્યામ પોલાણ (Black Hole) તરીકે ઓળખાય છે. શ્યામ (Black) એટલા માટે કે પ્રકાશ પણ બહાર નીકળી શકતો નથી અને પોલાણ (Hole) એટલા માટે કે દ્રવ્ય કે પ્રકાશ આ તારામાંથી બહાર કાઢી શકાતો નથી. પ્રકાશ અંદર ગયો તે ગયો !! બ્લેક હૉલ શબ્દ પહેલવહેલો જોહ્ન આર્ચિબાલ્ડ વ્હિલરે (John Archibald Wheeler) વાપરેલો. 1798 માં લાપ્લાસે (Laplace) સુચવેલું કે ખૂબ જ દ્રવ્યવાળો તારો હોઈ શકે કે જેમાંથી પ્રકાશ પણ બહાર નીકળી ન શકે.



આકૃતિ 9.5.3

હાર્દનું દ્રવ્ય સૂર્યના દ્રવ્યથી દસ ($10\,M_\odot$) ગણું છે તો આપણે તેની સ્વાર્ઝશીલ્ડ ત્રિજ્યા R_{Sch} મેળવીએ.

$G = 6.67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$, $c = 3.00 \times 10^8 m/s$, $M_\odot = 1.99 \times 10^{29} kg$.

આથી $R_{Sch} = \frac{2MG}{c^2} = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 1.99 \times 10^{29}}{9 \times 10^{16}} = 3.0 \times 10^4 m$ થાય.

$1\,km = 10^3 m$ છે. આથી $10\,M_\odot$ ના શ્યામ પોલાણની ત્રિજ્યા 30 કિમી અથવા 19 માઈલ છે. આથી જો સૂર્ય શ્યામ પોલાણ બને (જેની શક્યતા નથી) તો તેની ત્રિજ્યા 3 કિમી છે અને જો પૃથ્વી જેવડો તારો શ્યામ પોલાણ બને તો તેની ત્રિજ્યા $R_s = 1$ સેન્ટીમીટર છે.

આપણે સ્વાર્ઝશીલ્ડ ત્રિજ્યા R_{Sch} લઈને જો ગોળો બનાવીએ તેની સપાટી ઘટના-ક્ષિતિજ (Event Horizon) તરીકે ઓળખાય છે. આપણે ઘટના-ક્ષિતિજમાં કશું જ જોઈ શકતા નથી. હાર્દ સંકોચાતું સંકોચાતું એક વખતે ઘટના ક્ષિતિજમાં આવે તો તે હાર્દમાંથી પ્રકાશ બહાર જઈ શકતો નથી. એક વખતે તારો (હાર્દ) સંકોચાતો સંકોચાતો ઘટના-ક્ષિતિજમાં આવ્યો તે પછી આ તારાને સંકોચાતા સંકોચાતા અનંત ઘનતાનું બિંદુ થવાનું કોઈ રોકી શકતું નથી. શ્યામ પોલાણના કેન્દ્રનું આ બિંદુ શ્યામ પોલાણના વિશિષ્ટ બિંદુ (Singular Point) તરીકે ઓળખાય છે.

સીધેસીધું શ્યામ પોલાણ જોઈ શકાય તેવી શક્યતા જ નથી કારણકે શ્યામ પોલાણમાંથી પ્રકાશ બહાર આવતો નથી. શ્યામ પોલાણમાં કોઈ દ્રવ્ય પડતું હોય તે તે દ્રવ્યનો થોડોક ભાગ શ્યામ પોલાણની આસપાસ ફરતો હશે. શ્યામ પોલાણની આસપાસ ગુરુત્વાકર્ષણ બળનું ક્ષેત્ર ખૂબ જ શક્તિશાળી હોઈને, તેની આસપાસનું દ્રવ્ય ખૂબ જ ઝડપથી ફરશે. આ દ્રવ્યનાં કણો અંદર અંદર અથડાતાં હોઈને, ખૂબ જ ઝડપના કારણે ખૂબ જ ગરમ થાય. આ ખૂબ જ ગરમ દ્રવ્યની ઊર્જા પ્રસરે. આ ઊર્જા ઘટના ક્ષિતિજમાં ન હોઈને આપણે શોધી શકીએ. આ દ્રવ્ય X-કિરણોના ઉગમ તરીકે દેખાય. અવકાશમાં ફરતી X-કિરણોની વેધશાળાઓએ ઘણા બધા X-કિરણોના ઉગમો શોધ્યા છે. કોઈ પણ શંકા વગર પોલાણનું અસ્તિત્વ સાબિત થઈ ચૂક્યું છે.