තාරකාවක සම්භවය සහ විකාශය

සරාජ් ගුණසේකර

අප තාරකා පිළිබඳ අවබෝධයක් ලබා ගත යුත්තේ ඇයි? මෙයට හොඳම පිළිතුර නම් අප ශරීරය තුළ ඇති මූල ද්‍රව්‍ය (හයිඩ්‍රජන් (H) හැර) බිහි වී ඇත්තේ තරුවල අභ්‍යන්තරයේ සහ එහි අවසානයේ ඇතිවන පිපුරුම් වලදීය. අප තරුවලින් බිහිවූයේ යැයි කිවහොත් වඩා නිවැරදිය. නවීන තාරකා විද්‍යාව අනුව විශ්වය ආරම්භ වී ඇත්තේ විශාල පිපුරුමකින් (Big Bang) පසු ව ඇති වූ පදාර්ථ සහ අවකාශය තුළින්ය. විශ්වයේ ඇති සියළුම හයිඩ්‍රජන් විශ්වය ආරම්භයේ දී ඇති වූ මහා පිපුරුමේ දී බිහි වූ අතර මෙහිදී ඉතා සුළු, හීලියම් (He) ප්‍රමාණයක් බිහි වන්නට ඇත. අනෙක් සියළුම බර මූලද්‍රව්‍ය බිහි වූයේ තරුවල අභ්‍යන්තරයේ න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියාවල ප්‍රතිඵල වශයෙනි. තාරකාවක සම්භවය පිළිබඳ හැදෑරීමේදී තාරකා අතර ඇති මාධ්‍යය එනම් අන්තස්තාරීය මාධ්‍යය (interstellar medium) ගැන අවබෝධයක් ලබා ගැනීම ඉතා වැදගත්ය. අන්තස්තාරීය මාධ්‍යය

තාරකාවක සම්භවය පිළිබඳ හැදෑරීමේදී තාරකා අතර ඇති මාධ්‍යය එනම් අන්තස්තාරීය මාධ්‍යය (interstellar medium) ගැන අවබෝධයක් ලබා ගැනීම ඉතා වැදගත්ය. අන්තස්තාරීය මාධ්‍යය ප්‍රධාන වශයෙන් හයිඩ්‍රජන් වායුවෙන් සමන්විත වන අතර එය එම මාධ්‍යයේ උෂ්ණත්වය අනුව හයිඩ්‍රජන් වායුවල පරමාණු (H I), අණු (H_2) හෝ අයන (H II) යන අවස්ථාවල පැවතිය හැකිය. සාමාන්‍යයෙන් අන්තස්තාරීය මාධ්‍යයේ ඝනත්වය ඉතා අල්ප වේ.

ප්‍රධාන වශයෙන් හයිඩ්‍රජන් වායුවෙන් සමන්විත වන අතර එය එම මාධ්‍යයේ උෂ්ණත්වය අනුව හයිඩ්‍රජන් වායුව, පරමාණු (H I), අණු (H_2) හෝ අයන (H II) යන අවස්ථාවල පැවතිය හැකිය. සාමාන්‍යයෙන් අන්තස්තාරීය මාධ්‍යයේ ඝනත්වය ඉතා අල්ප වේ. උදාහරණයක් ලෙස අන්තස්තාරීය මාධ්‍යයේ අංශු 2ක් අතර දුර පෘථිවියේ සිට චන්ද්‍රයාට ඇති දුර එනම් 384,000km පමණ වෙයි. එහි උෂ්ණත්වය ද ඉතා අඩු අගයක් එනම් **10°K** පමණ වෙයි.

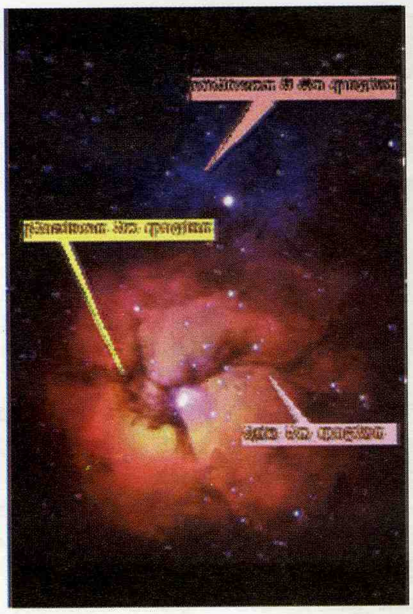
විශ්වයේ මෙවැනි සිසිල් අන්තස්තාරීය හයිඩ්‍රජන් වායු ඇති ස්ථාන හඳුනා ගැනීම සඳහා උපයෝගී කර ගනු ලබන්නේ හයිඩ්‍රජන් පරමාණුවෙන් නිකුත්වන 21cm තරංගය. හයිඩ්‍රජන් පරමාණුව පැවතිය හැකි එක් ශක්ති මට්ටමක සිට තවත් ශක්ති මට්ටමකට සංක්‍රමණය (transition) වීමේ ප්‍රතිඵලයක් වශයෙන් මෙසේ 21cm රේඩියෝ තරංග විමෝචනය සිදුවෙයි. හයිඩ්‍රජන් පරමාණුවේ න්‍යෂ්ටියේ සහ ඉලෙක්ට්‍රෝනයේ භ්‍රමණ (spin) වල දිශාවන් සමාන්තර සහ ප්‍රතිවිරුද්ධ සමාන්තර (anti parallel) යන අවස්ථා දෙකෙහි ඉතා කුඩා ශක්ති වෙනසක් පවතී. හයිඩ්‍රජන් න්‍යෂ්ටියේ සහ ඉලෙක්ට්‍රෝනයේ භ්‍රමණ සමාන්තර අවස්ථාවේ ශක්තිය භ්‍රමණ ප්‍රතිවිරුද්ධ සමාන්තර අවස්ථාවට වඩා ඉලෙක්ට්‍රෝන වෝල්ට් 0.000006 eV අගයකින් ඉහළය. හයිඩ්‍රජන් පරමාණුව භ්‍රමණ සමාන්තර අවස්ථාවේ සිට භ්‍රමණ ප්‍රතිවිරුද්ධ සමාන්තර අවස්ථාවට සංක්‍රමණය වන විට ඇති වන එම ශක්ති වෙනස 21cm තරංග ආයාමයේ රේඩියෝ තරංග ලෙස මුක්ත වේ. මෙම තරංග රේඩියෝ දුරේක්ෂයක් මගින් නිරීක්ෂණය කළ හැකිය.

සමහර අවස්ථාවලදී අන්තස්තාරිය වායු උෂ්ණත්වය, එහි ඇති හයිඩ්‍රජන් වායුව අයනීකරණය කිරිමට තරම් ප්‍රමාණවත් වේ. අන්තස්තාරීය වායුවලාවන් අන්‍යෝන්‍ය ගුරුත්වය යටතේ හැකිලෙන අවස්ථාවක ගුරුත්වාකර්ෂණ විභව ශක්තිය, චාලක

රූ සටහන 1: *අණු වලාකුළු*

ශක්තිය බවට පරිවර්තනය වන අතර එමගින් අන්තස්තාරිය වලාවේ උෂ්ණත්වය ඉහළ යයි. අන්තස්තාරිය වලාවක් අසල උෂ්ණත්වය අධික තාරකාවක් පිහිටියේ නම් එම තාරකාව මගින් පිටකරන පාර ජම්බුල (Ultraviolet) කිරණ මගින් අන්තස්තාරිය වලාවේ ඇති හයිඩ්‍රජන් වායුව අයනීකරණය වේ. මෙලෙස අයනීකරණය වූ අන්තස්තාරීය වලාවකින් හයිඩ්‍රජන් වර්ණාවලියේ බාමර් ශ්‍රේණියේ (Balmer series) ආලෝකය මුක්ත කරයි. මෙහි දී බාමර් ශ්‍රේණියේ රතු වර්ණය වැඩි වශයෙන් නිකුත් වන නිසා එවැනි අන්තස්තාරිය වායු වලාවක් හෙවත් නීහාරිකාවක් (Nebula) රතු වර්ණයෙන් දීප්තිමත්ව දැකගත හැකියි. මෙවැනි වායු වලාවක් විමෝචක නීහාරිකාවක් (Emission nebula) ලෙස හැඳින්වයි. අන්තස්තාරිය මාධ්‍යයේ හයිඩ්‍රජන් සහ අනෙක් මූලද්‍රව්‍ය වලට අමතරව දූවිලි ද පවතී. මෙම දූවිලි, සිලිකේට සහ අයිස් වලින් සැදුණු අංශු ලෙස පවතියි. අන්තස්තාරිය මාධ්‍යයේ මීතේන් (CH_4), ඇමෝනියා (NH_3), කාබන් ඩයොක්සයිඩ් (CO_2) වැනි වායු ද,

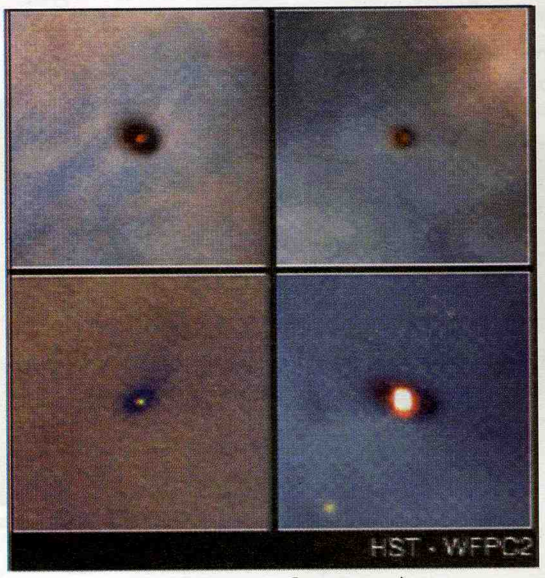
හයිඩ්‍රජන්, කාබන්, නයිට්‍රජන්, ඔක්සිජන්, සිලිකන් සහ සල්ෆර් වලින් සමන්විත සංයෝග ද පවතියි. දූවිලි අංශුවක් මයික්‍රොමීටර් 0.5(µm) පමණ වන අතර මෙම දූවිලි අංශු සංකීර්ණ අණු (molecules) නිර්මාණයෙහිලා විශාල කාර්යයක් ඉටු කරයි. දූවිලි අංශුවක් මත රැඳුණු කුඩා පරමාණුවක් හෝ අණුවක්, එම දූවිලි අංශුව අසල චලනය වන වෙනත් පරමාණුවක් හෝ අණුවක් සමග බන්ධනයක් සෑදීම සඳහා උත්ප්‍රේරකයක් (catalyst) ලෙස ක්‍රියාකරයි. මෙලෙස සරල අණු මගින් සංකීර්ණ අණු නිර්මාණ වීම සිදුවේ. තවද දූවිලි අංශු මත රැඳුණ අණු අන්තස්තාරීය මාධ්‍යයේ ඇති පාරජම්බුල කිරණ වලින් බිඳී යා නොදී ආරක්‍ෂා කර ගැනීම ද එයින් සිදුවන තවත් වැදගත් කාර්යයකි. එමනිසා දූවිලි අංශු අන්තස්තාරීය මාධ්‍යයේ සංකීර්ණ අණුවලින් සමන්විත අණු වලාකුළු (molecular clouds) නිර්මාණය වීමෙහිලා මහෝපකාරී වේ.



රූ සටහන 2: *නීහාරිකා*

කුඩා අණුවල ඇති ගුරුත්වාකර්ෂණ (gravitation) සහ ස්ථිතික විද්‍යුත් (electrostatic) ආකර්ෂණ බල එම අණු එකිනෙක සමග ආකර්ෂණය කර ගැනීමට තරම් ප්‍රමාණවත් නොවේ. එහෙත් සංකීර්ණ සහ විශාල අණු (molecules) සෑදුණු විට එම අණුවල අන්‍යෝන්‍ය ගුරුත්වාකර්ෂණ බල මගින් අණු වලාව සංකෝචනය වීම හේතුකොටඋපදින අධික තාපය සහ පීඩනය මගින් න්‍යෂ්ටික විලයන (nuclear fusion) ප්‍රතික්‍රියා ආරම්භ වී නව තරු බිහිවේ.

සන දූවිලි සහිත නීහාරිකා මගින් එහි පසුබිමේ ඇති තාරකාවලින් නිකුත් කරනු ලබන ආලෝකය අවශෝෂණය කර ගන්නා බැවින් එවැනි කලාප දර්ශනය වන්නේ අඳුරු ආකාරයෙනි. තවද නීහාරිකාවල ඇති දූවිලි අංශු මගින් පසුබිමේ ඇති තාරකාවල ආලෝකය ප්‍රකිරණය (scatter) කරනු ලබයි. තරංග ආයාමය අඩු නිල් ආලෝකය වැඩි වශයෙන් ප්‍රකිරණය වන අතර තරංග ආයාමය වැඩි රතු ආලෝකය අඩුවෙන් ප්‍රකිරණය වේ. එනිසා නිහාරිකා පසුබිමේ ඇති තරුවලින් ලැබෙන නිල් ආලෝකය අඩු වන නිසා ඒවා වඩා රතු පැහැයෙන් දර්ශනය වේ. නිහාරිකාවෙන් පරාවර්තනය වී එන ආලෝකය (එනම් ප්‍රකිරණය වී එන ආලෝකය) නිල් පැහැයෙන් දර්ශනය වේ. නිහාරිකාවල ආලෝකය පරාවර්තනය වන කලාප"පරාවර්තක නීහාරිකා" ලෙසද හැඳින්වේ.



රූ සටහන 3: *ප්‍රතිරූ ග්‍රහමණ්ඩල*

තාරකා බිහිවීම සඳහා අවශ්‍ය සාධක

තාරකාවක් බිහිවීම සඳහා අණු වලාවක් ගුරුත්වාකර්ෂණය යටතේ හැකිළීමට භාජනය විය යුතුය. මෙහිදී ගුරුත්වාකර්ෂණ බලයට විරුද්ධව ක්‍රියාත්මක වන්නේ වායුව තුළ පවතින පීඩනයි. අණු වලාවේ ස්කන්ධය මෙම වායු පීඩනය මැඩ පැවැත්වීමට ප්‍රමාණවත් වේ නම් අණු වලාව ගුරුත්වාකර්ෂණ යටතේ හැකිලීම ආරම්භ වේ. මෙලෙස ගුරුත්වාකර්ෂණ බලය පමණක් උපයෝගී කරගෙන හැකිලෙන අණු වලාවකින් බිහිවන්නේ අඩු සහ මධ්‍යම ස්කන්ධය (අපේ සූර්යයා වැනි) ඇති තාරකා පමණි. අධික ස්කන්ධයක් ඇති තාරකා බිහිවීම සඳහා ගුරුත්වාකර්ෂණය පමණක් ප්‍රමාණවත් නොවේ. ගුරුත්වාකර්ෂණ බලයට ප්‍රතිවිරුද්ධව ක්‍රියාත්මක වන අනෙක් බල, එනම් චලනය වන අංශු මගින් ඇතිවන පීඩනය (pressure) වේගයෙන් භ්‍රමණය වන විට ඇතිවන කේන්ද්‍රාපසාරී බලය (centrifugal force) සහ චලනය වන ආරෝපිත අංශු වලින් බිහිවන චුම්භක ක්ෂේත්‍රය (magnetic field) මගින් ඇතිවන බලය ආදිය ද මෙහිදී යම් දායකත්වයක් දක්වයි.

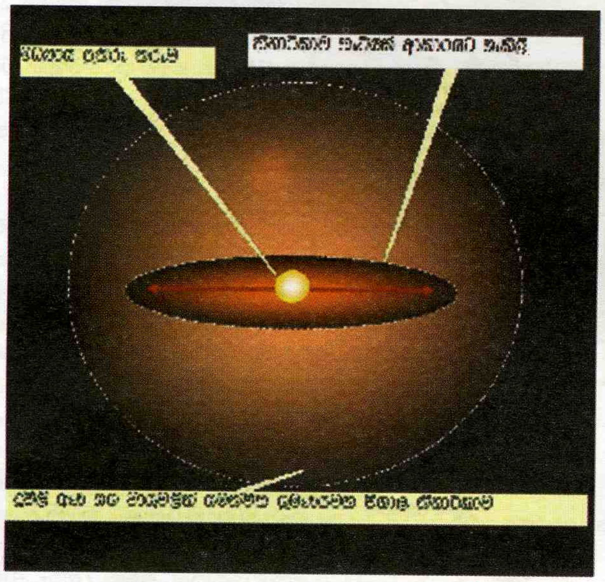
විශ්වය තුළ ඇතිවන විශාල පිපිරුම් නිසා කම්පන තරංග (shock waves) ඇති වේ (සුපර්නෝවා වැනි පිපිරුම්) මෙවැනි කම්පන තරංග චක්‍රාවාට (Galaxie) තුළින් ගමන් කරන විට එම චක්‍රාවාට තුළ ඝනත්වය අධික අණු වලාවක් ඇති කරයි. අණු වලා දෙකක ගැටීමක් සිදුවූ විට ද එමගින් අණු වලා දෙකෙහි කැළඹුමක් ඇති කරයි. තවද අණු වලාවක් අසල ඇති බිහිවූ නව තරුවකින් පිපිරුමක් ලෙස පිටකරන උණුසුම් හයිඩ්‍රජන් වායු මගින් ද අණු වලාවේ සම්පීඩන කලාප ඇති කරයි. මෙවැනි ඝනත්වය අධික අණුක වලාවන් ගෙන් ස්කන්ධය වැඩි විශාල තරු බිහිවේ.

අණු වලාවක් අසල බිහි වූ නව තරුවලින් පිටවන ප්‍රබල තාරකා සුළඟ (Stellar wind) මගින් අසල ඇති අණු වලාව ඉවතට විසිරුවා හරිනු ලබන අතර අණු වලාවේ දාරවල සම්පීඩනයක් ඇති කරයි. මෙම සම්පීඩන කලාපයේ ඝනත්වය අධික නිසා එහි නවතරු බිහිවේ. (තාරකා සුළඟ ප්‍රධාන වශයෙන් අයනීකරණය වූ හයිඩ්‍රජන් (H II) වලින් සහ අනෙක් ස්කන්ධය වැඩි මූල ද්‍රව්‍යයන්ගෙන් සමන්විත වන අතර ඒවා තත්පරයට කිලෝමීටර සිය ගණනක වේගයෙන් අවකාශයට මුදාහරී)

ප්‍රසිද්ධ "ඔරායන්" නීහාරිකාව මෙවැනි නව තරු බිහි වන ස්ථානයකි. නව තරුවක් සමග ග්‍රහ මණ්ඩලයක් බිහිවන හැකිළුණු අණු වලාවකට ප්‍රතිරූ ග්‍රහමණ්ඩල තැටියක් (protoplanetary disk

or proplyd) ලෙස හඳුන්වමු. ඕරායන් නිහාරිකාව තුළ මෙවැනි ප්‍රතිරූ ග්‍රහමණ්ඩල විශාල සංඛ්‍යාවක් සොයා ගෙන ඇත.

අණු වලාවක් හෙවත් නීහාරිකාවක් ප්‍රමාණවත් ලෙස හැකිළෙන විට එය භ්‍රමණය වන තැටියක් (disk) සහ එහි මධ්‍යයේ ප්‍රතිරූ තරුවක් (proto star) නිර්මාණය වේ. අණු වලාවක් හැකිළෙන අවස්ථාවේදී ද ගම්‍යතාවය සහ ශක්තිය සංස්ථිතික විය යුතුය. අණු වලාව හැකිළෙන විට එහි විභව ශක්තිය අඩු වේ. එහි ශක්තිය සංස්ථිතික විම සඳහා එහි චාලක ශක්තිය වැඩි විය



රූ සටහන 4: *හැකිලෙන නීහාරිකාව*

යුතුය. එනම් අණු වලාවේ උෂ්ණත්වය ඉහළ යා යුතුය. අණු වලාව හැකිළෙන විට එහි කෝණික ගම්‍යතාවය අවස්ථිතික වීම සඳහා අණු වලාවේ භ්‍රමණ වේගය වැඩි විය යුතුය. කෝණික ගම්‍යතා සංස්ථිතිය නිසා මෙම තැටිය භ්‍රමණය වීම සිදුවන්නේ නීහාරිකාව හැකිළීමට පෙර එහි භ්‍රමණය වූ දිශාවටය.

නිහාරිකාව ගුරුත්වය යටතේ හැකිළෙන විට එහි හැඩය ගෝලාකාර ස්වභාවයක් ගන්නා අතර එහි භ්‍රමණ වේගය වැඩිම ප්‍රදේශය වන්නේ එහි සමකයට ආසන්න ප්‍රදේශයයි. එම නිසා හැකිළුන නීහාරිකාවේ සමකය ආසන්න ප්‍රදේශයේ කේන්ද්‍රාපසාරි බලය වැඩි බැවින් සමකය ආසන්නයේ ඇති නිහාරිකාවේ ද්‍රව්‍ය තව දුරටත් ගුරුත්වය යටතේ බිහිවන ප්‍රතිරූ තාරකාව මතට වැටීමක් සිදුනොවේ. එහෙත් ධ්‍රැව ආසන්නයේ කේන්ද්‍රාපසාරි බලය ඉතා අඩු නිසා නීහාරිකාවේ ද්‍රව්‍ය තවදුරටත් ප්‍රතිරූ තාරකාව මතට පතිතවේ. මෙම හේතුව නිසා ප්‍රමාණවත් ලෙස හැකිළුන නීහාරිකාව මැද ගෝලාකාර වූ තැටියක ස්වරූපයක් ගනී. මෙලෙස හැකිළෙන නිහාරිකාවේ උෂ්ණත්වය සහ පීඩනය ඉතා වැඩි වන අතර යම් මොහොතක න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා ආරම්භ කිරීමට තරම් එය ප්‍රමාණවත් වේ. එවිට අපි නව තරුවක් (Young Stellar Object -YSO) බිහිවූයේ යැයි කියමු.

මෙම න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියාවේ දී පහත පරිදි හයිඩ්‍රජන් න්‍යෂ්ටි 6 ක් හීලියම් න්‍යෂ්ටියක්, පොසිට්‍රෝන 2ක්, නියුට්‍රිනෝ 2ක්, ගැමා කිරණ 2ක් සහ හයිඩ්‍රජන් න්‍යෂ්ටි 2ක් බවට විලයනය වේ. (ප්‍රෝටෝන-ප්‍රෝටෝන චක්‍රය)

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

(A) ප්‍රතික්‍රියාවේ වම්පස ස්කන්ධය = 6.693×10^{-27}Kg

(A) ප්‍රතික්‍රියාවේ දකුණු පස ස්කන්ධය = 6.645×10^{-27}Kg

එවිට මෙම න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියාවේ ස්කන්ධ වෙනස = $6.645 \times 10^{-27} = 6'693 \times 10^{-27} = 0'048 \times 10^{-27}$ Kg

ඇල්බට් අයින්ස්ටයින් ගේ ස්කන්ධ සහ ශක්තිය අතර සමීකරණය එනම් $E = mc^2$ භාවිතා කළ විට මෙම ස්කන්ධ වෙනසට අනුරූප ශක්තිය

$E = 0.048 \times 10^{-27}$ Kg x3 x 10^{8} ms^{-1}
$E = 0.43 \times 10^{-11}$ තත්පරයට ජූල්

න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා ආරම්භ වූ අවස්ථාවේ දී මෙම තරුව අපේ ඇසින් දැකගත නොහැකිය. මන්ද යත් නව තරුව වටා ඇති දූවිලි සහ වායුවල උෂ්ණත්වය දෘශ්‍ය ආලෝකය පිටකිරීමට තරම් ප්‍රමාණවත් ලෙස වැඩි වී නොමැති බැවිනි. මෙවැනි නව තරු විද්‍යුත් චුම්භක වර්ණාවලියේ රේඩියෝ තරංග පරාසයෙන් නිරීක්ෂණ කළ හැකිය. එනම් රේඩියෝ දුරේක්ෂ තුළින් මෙවැනි අලුත බිහිවූ තරු දැකගත හැකිය.

තරුවේ ඇති ආරෝපිත අංශුවල චලනය නිසා තරුවේ විශාල චුම්භක ක්ෂේත්‍රයක් ජනනය වේ. මෙම චුම්භක ක්ෂේත්‍රය වඩාත් ප්‍රබල වන්නේ තරුවේ ධ්‍රැව 2 ක ආසන්නයේදිය. අයනීකරණය වූ හයිඩ්‍රජන් (H II) ආරෝපිත අංශු බැවින් තරුවේ ධ්‍රැව 2ක ඔස්සේ චුම්භක බල රේඛා දිගේ ක්ෂේප (jet) 2ක් ලෙස තරුවෙන් ඉවතට විහිදෙනු දැකිය හැකිය. භ්‍රමණය වන තරුවේ හරයේ (core) ඇති ද්‍රව්‍යය ඉන් ඉවතට ගමන් කළ හැකි පහසුම මාර්ගය වන තරුවේ භ්‍රමණ අක්ෂය ඔස්සේ තරුවෙන් ඉවතට ඇදීයයි. තවද තරුව වටා ඇති තැටියෙන් වායු, දූවිලි සහ විකිරණ තාරකා සුළඟක් ලෙස පිට කරනු ලබයි.

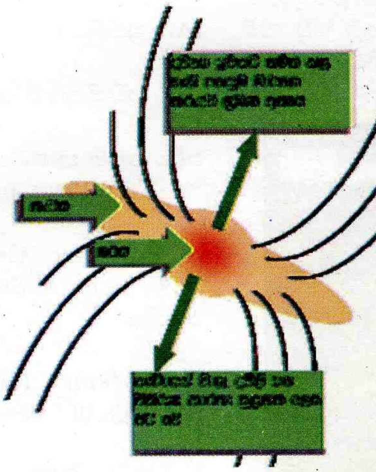
තාරකාවල වර්ණාවලි ශ්‍රේණිය, දීප්තිය සහ විශාලත්වය

තාරකා විද්‍යාඥයන් විසින් තාරකාවල වර්ණාවලිය අනුව ඒවා ශ්‍රේණි ගත කර ඇත. මුලින්ම මෙම ශ්‍රේණි ගත කිරීම සිදුවූයේ තාරකාවල වර්ණාවලියේ හයිඩ්‍රජන් අවශෝෂක වර්ණාවලි රේඛාවේ (Hydrogen absorption line) ප්‍රබලතාවය අනුවය. මෙහිදී ඉංග්‍රීසි හෝඩියේ A B C D E F G H I J K L M N O සහ P ලෙස හයිඩ්‍රජන් වර්ණාවලි රේඛාවේ ප්‍රබලතාවය අඩුවෙන පිළිවෙලින් තාරකා ශ්‍රේණිගත කරන ලදී. පසුව මෙම ශ්‍රේණිගත කිරීම තාරකාවල වර්ණාවලියේ සියළුම වර්ණාවලි රේඛාවල සාපේක්ෂ ප්‍රබලතාව සලකා නැවත සංශෝධනය කරන ලදී. ඒ අනුව වර්ණාවලි රේඛාවල ප්‍රබලතාවය අනුව O B A F G K M ලෙස භාවිතා කරනු ලැබේ. තවද මෙම ශ්‍රේණිගත කිරීම සියුම් ලෙස

සිදුකිරීමට එක් ශ්‍රේණියක් තව දුරටත් 0 සිට 9 දක්වා උපශ්‍රේණි වලට ද බෙදා වෙන් කරන ලදී. වර්ණාවලි ශ්‍රේණිය තාරකාවල මතුපිට උෂ්ණත්වය මත රඳා පවතී. උෂ්ණත්වය වැඩිම තරු O වන අතර ශ්‍රේණියේ පහළට යන විට උෂ්ණත්වය ද අඩුවේ. නිල් වර්ණයෙන් යුතු තරුවල උෂ්ණත්වය අධික වන අතර රතු වර්ණයෙන් යුතු තරුවල උෂ්ණත්වය අඩු අගයක් ගනී.

තරුවෙන් පිටවන සම්පූර්ණ ආලෝක ප්‍රමාණය එහි දීප්තිය (Luminosity) ලෙස හඳුන්වමු. තවද තරු එහි දීප්තිය අනුව ශ්‍රේණිගත කිරීම සඳහා විශාලත්ව පරිමාණයක් (Magnitude Scale) භාවිතා කරමු. මෙම විශාලත්ව පරිමාණය (m) තරු 2ක දීප්තිය හෙවත් ස්‍රාවය (f) ඇසුරෙන් පහත පරිදි අර්ථ දක්වනු ලැබේ.

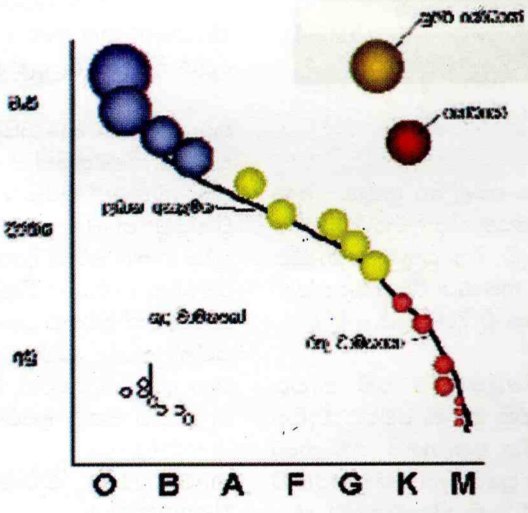
වේගා (Vega) නමැති තරුවේ විශාලත්වය m = 0 ලෙස අර්ථ දැක්වේ. මෙම පරිමාණය අනුව දීප්තිය වැඩි තරු සඳහා විශාලත්ව පරිමාණයේ අඩු අගයක් ද දීප්තිය අඩු තරු සඳහා විශාලත්ව පරිමාණයේ වැඩි අගයක් ද ලැබේ.



5 වන රූපය: ක්ෂේප සහ තාරකා

හර්ට්ස්ප්‍රන්ග්-රසල් සටහන

දැන් අපි තාරකාවල විකාශය සම්බන්ධව ඉතා වැදගත් වන ප්‍රස්තාරයක් පිළිබඳව සලකා බලමු. හර්ට්ස්ප්‍රන්ග්-රසල් (Hertzsprung-Russell) නමැති තාරකා විද්‍යාඥයන් දෙදෙනා තරුවල නිරපේක්ෂ විශාලත්වය එහි වර්ණය හෙවත් වර්ණාවලි ශ්‍රේණියට ඉදිරියෙන් ප්‍රස්තාර ගත කරන ලදී. මෙය හර්ට්ස්ප්‍රන්ග්-රසල් සටහන ලෙස (HR diagram) හඳුන්වමු. මෙම H-R සටහන, තාරකාවල නිරපේක්ෂ විශාලත්වයේ තවත් මිණුමක් වන දීප්තිය (L) සහ වර්ණාවලි ශ්‍රේණියේ පදනම වන තරුවේ මතුපිට උෂ්ණත්වය උපයෝගී කරගෙන ද නිර්මාණය කළ හැකිය. H-R සටහනෙහි තාරකා බොහොමයක් එක් රටාවකට අනුව පිහිටයි. මෙය H-R සටහනෙහි ප්‍රධාන අනුක්‍රමය (main sequence) ලෙස හඳුන්වමු. ප්‍රධාන අනුක්‍රමයට ඉහළින් දකුණු පස H-R සටහනේ තරු පිහිටන රටා අනුව තරු දීප්තිය අනුව ද වර්ග කරනු ලැබේ. එනම්,



රූ සටහන 6: හර්ට්ස්ප්‍රන්ග්සල් සටහන

I_a - ඉතා දීප්තිමත් සුපිරි යෝධයන්
I_b - දීප්තියෙන් අඩු සුපිරි යෝධයන්
II - දීප්තිමත් යෝධයන්
III - සාමාන්‍ය යෝධයන්
IV - උප යෝධයන්
V - ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ තරු (සාමාන්‍ය තරු)

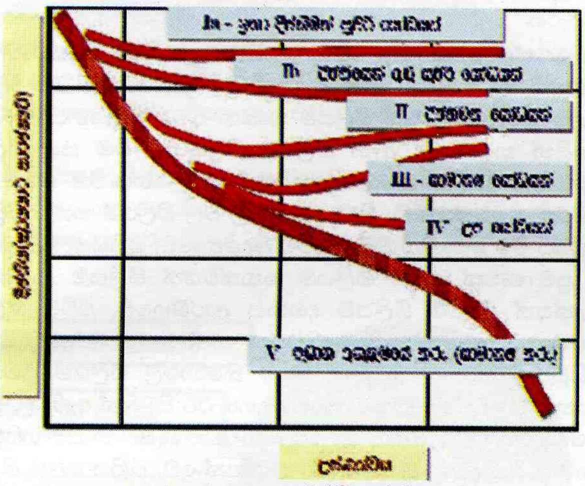
අණු වලාවක් නව තරුවක් බවට පත්වන ක්‍රියාවලියේදී එය H-R සටහනෙහි පිහිටන අයුරු දැන් අපි සලකා බලමු. අණු වලාව හැකිළීමට ගන්නා අවස්ථාවේ එහි උෂ්ණත්වය අඩු නිසා එය H-R සටහනෙහි පහළ දකුණු කෙළවරෙහි පිහිටයි. ක්‍රමයෙන් එහි උෂ්ණත්වය වැඩි වන නිසා එහි දීප්තිය ද වැඩි වේ. එවිට එය H-R සටහනෙහි වමට සහ ඉහළට ගමන් කරයි. අණු වලාව හැකිළෙන විට එහි ප්‍රමාණය කුඩා වන බැවින් උෂ්ණත්වය ඉහළ ගිය ද දීප්තිය තරමක් අඩුවේ (මක්නිසාද යත් දීප්තිය, උෂ්ණත්වය සහ ප්‍රමාණය යන සාධක 2 ක මත රඳාපවතින බැවින්ය). එම නිසා හැකිළෙන අණුවලාව H-R සටහනෙහි වමට සහ මදක් පහළට ගමන් කරයි. න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා ආරම්භ වූ පසු එය H-R සටහනෙහි ප්‍රධාන අනුක්‍රමණ මතට පැමිණෙයි.

අප සූර්යයාගේ ස්කන්ධය ($M_\odot$) මෙන් $0.08M_\odot$ ස්කන්ධයක් ඇති ප්‍රතිරූ තරුවක් කිසිදිනක න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා ආරම්භ කිරීමට ප්‍රමාණවත් උෂ්ණත්වයකට හැකිළිය නොහැකිය. එවැනි තාරකා දුඹුරු වාමන තාරකා (brown dwarf star) ලෙස හඳුන්වනු ලබයි. මෙවැනි වස්තූන් නියම තාරකා ලෙස සැලකිය නොහැකිය. ඒවායේ ආලෝකය නිකුත් කරනුයේ ගුරුත්වාකර්ෂණ හැකිළීමේදී පිටකරනු ලබන උෂ්ණත්වය හේතු කොටගෙනය. මෙම දුඹුරු වාමන තාරකා H-R සටහනෙහි ප්‍රධාන අනුක්‍රමණ වෙත නොපැමිණේ.

අප සූර්යයාගේ ස්කන්ධයට වඩා $100M_\odot$ ගුරුත්වයකට වඩා වැඩි තරුවල හරයේ උෂ්ණත්වය ඉතා අධික වන අතර න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා මගින් ඇතිවන විකිරණ පීඩනය ගුරුත්වාකර්ෂණ බලයට වඩා ප්‍රබල වේ. මෙහිදී තාරකාව අස්ථායි වන අතර එය ඉතා අධික උෂ්ණත්වයෙන් යුත් වායු සහ දූවිලි පිපුරුමක් ලෙසින් අවකාශයට මුදා හරියි. "ඊටා කැරිනා"(Eta Carina) තාරකාව මෙවැනි තාරකාවකට උදාහරණයකි. මෙවැනි අධික ස්කන්ධයක් ඇති තාරකාද ප්‍රධාන අනුක්‍රමය වෙත නොපැමිණේ. ප්‍රධාන අනුක්‍රමයට තාරකාවක් පැමිණීමට ගතවන කාලය

ස්කන්ධය	කාලය (වසර)
$0.5\ M_\odot$	100×10^6
$1.0\ M_\odot$	30×10^6
$2.0\ M_\odot$	8×10^6
$5.0\ M_\odot$	0.7×10^6
$15.0\ M_\odot$	0.16×10^6

තාරකාවක් ශූන්‍ය ආයුකාල ප්‍රධාන අනුක්‍රමය (Zero Age Main Sequence-ZAMS) මත කොපමණ කාලයක් ගත කරයි ද යන්න රඳා පවතින්නේ තරුවේ ස්කන්ධය මතය. තරුවේ ස්කන්ධය වැඩිවන විට එහි හරයෙහි උෂ්ණත්වය ඉතා අධික වන නිසා න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා සිදුවන සීඝ්‍රතාවය ද වැඩිවේ. එමනිසා තරුවේ ස්කන්ධය වැඩි වන විට න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා සඳහා වැය කිරීමට එහි වැඩිපුර ස්කන්ධයක් තිබුණත් න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා සිදුවන



රූ සටහන 7: *දීප්ති ශ්‍රේණිය*

සීඝ්‍රතාවය ඉතා වැඩි නිසා ස්කන්ධය අධික තරු තම න්‍යෂ්ටික ඉන්ධන ඉක්මනින් අවසන් කර ප්‍රධාන අනුක්‍රමයෙන් ඉවත් වේ. ඔවුන්ගේ ජීවිතයේ අවසාන අවස්ථා කරා එළැඹේ. ස්කන්ධය අඩු තරුවල න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා සිදුවන වේගය අඩු බැවින් ඔවුන් වැඩි කලක් ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ තම ජීවිත කාලය ගතකරති. තාරකාවක් ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ ගත කරන කාලය තරුවේ ස්කන්ධයේ ඝනයට ප්‍රතිලෝමව සමානුපාතික වේ.

තරුව ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ ගත කරන කාලය $\propto$ 1/ (තරුවේ ස්කන්ධය)^3

ස්කන්ධය සූර්යයාගේ ස්කන්ධය මෙන්	වර්ණාවලි ශ්‍රේණිය	ප්‍රධාන අනුක්‍රමය මත කාලය (අවු.)
0.4	M	200,000x10^6
1.0	G2	10,000x10^6
3.3	A	500x10^6
40.0	05	1x10^6

තරුව ප්‍රධාන අනුක්‍රමය මත පවතින විට එහි ස්ථර (layers) ද්‍රවස්තිතික සමතුලිතතාවයේ පවතී. (Hydrostatic equilibrium) එනම් තරුවේ කිසියම් ස්ථරයක් සැලකූ විට එම ස්ථරයේ ඇති පදාර්ථ ගුරුත්වය යටතේ තරුව ඇතුළට ආකර්ෂණය කරගන්නා අතර අභ්‍යන්තර විකිරණ පීඩනය එම ස්ථරය පිටතට තල්ලු කරනු ලබයි. මෙම බල දෙක සමතුලිතතාවයේ ඇති නිසා තරුවේ වෙනසක් සිදුනොවේ.

තරුවේ හරයේ සිදුවිය හැකි න්‍යෂ්ටික විලයනය ප්‍රතික්‍රියා එහි උෂ්ණත්වය මත රඳා පවතී.

	න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියාව	උෂ්ණත්වය
I.	ප්‍රෝටෝන-ප්‍රෝටෝන චක්‍රය	8X10^6 °K
II.	කාබන්-නයිට්‍රජන්-ඔක්සිජන් චක්‍රය	20X10^6 °K
III.	ත්‍රිත්ව ඇල්ෆා අංශු ප්‍රතික්‍රියාව	100X10^6 °K
IV.	කාබන් දහනය	600X10^6 °K

සූර්යයාගේ වැනි ස්කන්ධ ඇති (1 $M_\odot$) තාරකාවන් ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ ජීවිත කාලය අවසන් කළ පසු තාරකාව එහි අවසාන අවධි වෙත එළඹෙන අයුරු දැන් අපි සලකා බලමු.

මෙවැනි තාරකාවක් ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ අවුරුදු බිලියන 10 ක් පමණ තම හයිඩ්‍රජන් හීලියම් බවට න්‍යෂ්ටික චලනය සිදුකරමින් ජීවත් වේ. හීලියම්, හයිඩ්‍රජන් වලට වඩා ස්කන්ධය වැඩි නිසා එය හරයේ මැද තැන්පත් වේ. හරයේ න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියාවට දායක වන හයිඩ්‍රජන් අවසන් වන විට විකිරණ පීඩනයක් අඩු වන බැවින් දැනට හීලියම් වලින් සමන්විත හරය ගුරුත්වය යටතේ හැකිළෙන අතර එහි උෂ්ණත්වය ඉහළ යයි. මෙහිදී හීලියම් හරයට පිටතින් කබොලක ආකාරයෙන් හයිඩ්‍රජන් දහනය වේ. මෙම අවස්ථාවේ දී අපි තාරකාව ප්‍රධාන අනුක්‍රමයෙන් බැහැර වන අවස්ථාව ලෙස හඳුන්වමු.

කබොලේ හයිඩ්‍රජන් දහනය

දැන් කබොලේ හරය කුඩා වී ඇති නිසා එහි උෂ්ණත්වය සහ පීඩනය සැලකිය යුතු ලෙස ඉහළ ගොස් ඇත. එම නිසා හරය වටා ඇති කබොලේ හයිඩ්‍රජන් දහනය වන සීඝ්‍රතාව වැඩි වන අතර එමගින් ඇතිවන විකිරණ පීඩනය මගින් තරුවේ බාහිර ආවරණය ප්‍රසාරණය වීම සිදුවේ. එවිට තාරකාව ප්‍රමාණයෙන් විශාල වන අතර එහි දීප්තිය ද වැඩිවේ. නමුත් තරුවේ බාහිර පෘෂ්ඨය හරයෙන් ඈත් වීම නිසා මතුපිට උෂ්ණත්වය අඩුවේ. තරුවේ කිසිදු ශක්ති නිපද වීමක් සිදුනොවීම නිසා එය තවදුරටත් ගුරුත්වය යටතේ හැකිලේ. මෙලෙස හැකිළෙන හරයේ ඇති හීලියම් න්‍යෂ්ටි සහ ඉලෙක්ට්‍රෝන ඉතා කුඩා අවකාශයකට ඇහිරෙයි. එනම් හරයේ ඇති ඉලෙක්ට්‍රෝන එහි පරමාණුවල පැවතිය හැකි සියලුම ශක්ති මට්ටම්වල පිරේ (මෙවැනි ඝනත්වය අධික අවස්ථාවක් සඳහා "ක්වොන්ටම් යන්ත්‍රණ" භාවිත කළ යුතුය. "පෝලි බහිෂ්කාර මූලධර්මය" (Pauli exclusion principle) අනුව ක්වොන්ටම් අවකාශයේ එක් ශක්ති මට්ටමක පැවතිය හැක්කේ ඉලෙක්ට්‍රෝන 2ක් පමණකි). මෙවැනි අවස්ථාවක පවතින පදාර්ථ "පිරිහුණු අවස්ථාවක්" (degenerate state) ලෙස සැලකේ. පිරිහුණු අවස්ථාවක් පවතින විට තරුවේ හරය තවදුරටත් හැකිළිය නොහැකිය (සාමාන්‍ය අවස්ථාවේ පවතින වායුවක උෂ්ණත්වය ඉහළ යන විට එහි පීඩනය වැඩිවී අවට පරිසරයට ප්‍රසාරණය වී උෂ්ණත්වය අඩු කර ගනී. නමුත් පිරිහුණු අවස්ථාවේ පවතින වායුවක උෂ්ණත්වය හා පීඩනය එකිනෙකට දැඩි ලෙස සම්බන්ධ නොවන නිසා පීඩනය නොවෙනස්වී උෂ්ණත්වය වැඩිවේ). තරුව මෙම අවස්ථාවට පත්වන විට එහි හීලියම් හරයේ උෂ්ණත්වය ඉතා ඉහළ යන අතර තරුව වටා ඇති කබොලේ හයිඩ්‍රජන් දහනය ඉතා සීඝ්‍රයෙන් සිදුවේ. එවිට තරුවේ බාහිර ආවරණය හෙවත් වහන්තරාව (envelop) මෙම විකිරණ ශක්තිය නිසා ඉතා වේගයෙන් ප්‍රසාරණය වේ. මෙම අවස්ථාවේදී තරුවේ විෂ්කම්භය

සූර්යයාගේ විෂ්කම්භය මෙන් 25 ගුණයක් පමණ වන අතර එහි මතුපිට උෂ්ණත්වය ද අඩු නිසා එය "රතු යෝධ" තරුවක් (Red Giant) ලෙස දර්ශනය වේ. තරුව H-R සටහනෙහි ඉහළට සහ දකුණට ගමන් කරන අතර මෙය H-R සටහනෙහි "යෝධ ශාඛාව" (Giant branch) ලෙස හඳුන්වමු.

හීලියම් ජ්වලනය (Helium flash)

අවුරුදු මිලියන සියගණනකට පසු තරුව රතු යෝධ ශාඛාවේ මුදුනට පැමිණේ. මේ අවස්ථාව වන විට එහි හීලියම් හරයේ උෂ්ණත්වය කෙල්වින් අංශක මිලියන 100 ක් පමණ වේ. මෙම උෂ්ණත්වයේ දී හීලියම් ද පිපුරුමක් ලෙස දහනය වීම ආරම්භ කරන අතර අසම්මත තත්වයේ පවතින හීලියම් හරය නිසා මෙම දහනය මුළු හරය පුරාම ආරම්භ වේ. එවිට හරය අධික ලෙස රත්වන අතර එමගින් හීලියම් දහනයවන සීඝ්‍රතාවයද වැඩිවේ. හීලියම් දහනය වන සීඝ්‍රතාව වැඩි වන විට හරයේ උෂ්ණත්වය තව දුරටත් ඉහළ යයි. මෙහිදී හරයේ උෂ්ණත්වය කෙල්වින් අංශක මිලියන 350 ක් පමණ ඉහළ යන අතර එම උෂ්ණත්වයේදී හරය පිරිහුණු අවස්ථාවෙන් මිදේ.

හීලියම් දහනය වන විට තරුවේ අභ්‍යන්තර ස්ථර පිටතට ප්‍රසාරණය වන අතර එමගින් තරුවේ හයිඩ්‍රජන් දහනය වන කබොල, ඝනත්වය අඩු පිටත ස්ථර වෙත තල්ලුකරනු ලබයි. එවිට ඝනත්වය අඩු වීම නිසා හයිඩ්‍රජන් දහනය වීම එක්විටම අඩුවේ. මේ අවස්ථාවේදී තරුවෙන් නිපදවන සම්පූර්ණ ශක්තිය අඩු වීම නිසා පීඩනය අඩු වී බාහිර ස්ථර තරුව තුළට ගුරුත්වය යටතේ කඩා වැටීමක් සිදුවේ. මේ අවස්ථාව වන විට තරුව H-R සටහනෙහි තිරස් ශාඛාවට (Horizontal branch) පැමිණ ඇති අතර හීලියම්, අනෙක් බර මූලද්‍රව්‍ය වන බෙරිලියම් (Be), කාබන් (C) සහ ඔක්සිජන් (O) බවට විලයනය වේ. හරයේ උෂ්ණත්වය ද ක්‍රමයෙන් ඉහළ යයි. හිලියම් දහනය වීමේදී හයිඩ්‍රජන් දහනය වීමට සාපේක්ෂව අඩු ශක්ති ප්‍රමාණයක් නිකුත් කරන බැවින් තරුවේ බාහිර ස්ථර මත පීඩනය අඩුවී, එම ස්ථර ගුරුත්වය යටතේ තරුවේ අභ්‍යන්තරයට කඩා වැටේ. ගුරුත්වය සහ පීඩනය සමතුලිත වන තෙක් මෙම හැකිලීම සිදුවේ. තරුවේ මතුපිට පෘෂ්ඨය එහි හරයට ආසන්න වීම නිසා මතුපිට උෂ්ණත්වය දැන් වැඩි අගයක් ගනී. තරුව ප්‍රමාණයෙන් කුඩා නිසා දීප්තියෙන් වැඩිවීමක් සිදුනොවේ. තරුව තිරස් ශාඛාවේ ඇති විට, එය ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ තිබූ අවස්ථාවට වඩා උෂ්ණත්වය වැඩි නිසා න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා සිදුවන වේගය ද වැඩි වේ. මේ නිසා එය ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ සිටි කාලයෙන් 1/10 පමණ කාලයක් හීලියම් දහනය අවසන් කිරීම සඳහා යොදාගනී.

හීලියම් දහනය අවසන් වීම

හරයේ හීලියම් දහනය වන විට ත්‍රිත්ව ඇල්ෆා ප්‍රතික්‍රියාව(එනම් හීලියම් න්‍යෂ්ටි තුනක් කාබන් බවට විලයනය වීම) මගින් ප්‍රධාන වශයෙන් කාබන් සහ ඔක්සිජන් නිපදවයි. මෙම බර මූලද්‍රව්‍ය හරයේ තැන්පත් වේ. කාබන් න්‍යෂ්ටියක් සෑදීම සඳහා හීලියම් න්‍යෂ්ටි 3ක් වැය වන නිසා කාබන් සෑදීමේ දී හරය මඳ වශයෙන් හැකිලීමට භාජනය වේ. හරය හැකිලෙන විට එයට පිටතින් හයිඩ්‍රජන් විලයනයෙන් බිහිවූ හීලියම් කබොල ද හැකිළේ. මෙලෙස හැකිලෙන විට එහි උෂ්ණත්වය සහ ඝනත්වය ඉහළ යන අතර යම් අවස්ථාවක හීලියම් කබොලේ ඇති හීලියම් ද විලයනය වීම ආරම්භවේ. හරයේ හීලියම් අවසන් වන විට හරය නැවතත් හැකිලෙන අතර එහි උෂ්ණත්වය ඉහළ යයි. මේ අවස්ථාවේ දී තරුවේ බාහිර ස්ථර ප්‍රසාරණය වී සිසිල් වන නිසා පිටතින් ඇති හයිඩ්‍රජන් දහනය වන කබොලේ විලයනය තාවකාලිකව නවතී. හරය පිරිහුණු අවස්ථාවක් දක්වා හැකිළේ. මෙවිට තාරකාව නැවතත් H-R සටහනේ රතු යෝධ ශාඛාව දිශාවට ගමන් කරයි. මෙම නව ශාඛාව "ස්පර්ශෝන්මුඛ යෝධ ශාඛාව" (Asymptotic giant branch) ලෙස අපි හඳුන්වමු.

තාප ස්පන්දනය (Thermal pulsing)

තරුව ස්පර්ශෝන්මුඛ යෝධ ශාඛාවට පැමිණි අවස්ථාව වන විට එහි තවමත් න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියා ස්ථාන 3ක සිදුවේ. එනම් තරුවේ හරයේ හීලියම් කාබන් බවට විලයනය වීම, ඊට ඉහළින් කබෝලේ ඇති හීලියම් විලයනය වීම සහ හීලියම් කබොලට ඉහළින් කබොලේ හයිඩ්‍රජන් විලයනය වීම. මෙය ඉතා අස්ථාවර අවස්ථාවකි. පිටත කබොල වල හීලියම් සහ හයිඩ්‍රජන් දහනය වීම බොහෝ විට එකවිට සිදුනොවේ. හයිඩ්‍රජන් විලයනය වී ප්‍රමාණවත් ලෙස හීලියම් ඝනත්වයත් හීලියම් කබොලේ තැන්පත් වූ විට හීලියම් දහනය ආරම්භවේ. එවිට හීලියම් කබොලට පිටතින් ඇති හයිඩ්‍රජන් කබොල ප්‍රසාරණය වී එහි හයිඩ්‍රජන් දහනය නවතී හීලියම් කබොලේ හීලියම් ප්‍රමාණය දහනය වී අඩුවන විට එම කබොල සහ ඊට පිටතින් ඇති හයිඩ්‍රජන් කබොල හැකිලී උෂ්ණත්වය සහ ඝනත්වය වැඩිවී නැවත හයිඩ්‍රජන් දහනය වී හීලියම් කබොලෙහි තැන්පත් වේ. චක්‍රිය ලෙස සිදුවන මෙම ක්‍රියාවලිය තාප ස්පන්දනය ලෙස හැඳින්වේ. මෙම චක්‍රීය ක්‍රියාවලිය වසර 100,000 කට වරක් බැගින් නැවත නැවත සිදුවේ.

නව මූලද්‍රව්‍ය බිහිවීම

තරුව ස්පර්ශෝන්මුඛ යෝධ ශාඛාවේ ඇතිවිට සිදුවන තාප ස්පන්දනය මගින් තරුවේ න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියා මගින් නිපදවන මූලද්‍රව්‍ය මනාව මිශ්‍රවීමක් සිදුවන අතර එම මූලද්‍රව්‍ය තරුවේ මතුපිට පෘෂ්ඨය මතට පැමිණීම සිදුවේ. එලෙස තරුවේ මතුපිටට පැමිණෙන මූලද්‍රව්‍ය තාරකා සුළඟ මගින් අවකාශය වෙතට රැගෙන යනු ලබයි. තවද ස්පර්ශෝන්මුඛ යෝධ ශාඛාවේ ඇති තරුවේ බාහිර ස්ථරවල උෂ්ණත්වය ඉතා අඩු නිසා එහි දූවිලි අංශු සෑදේ. මෙම දූවිලි අංශු තරුවේ ආලෝකය අවශෝෂණය කරන නිසා ආලෝකය එම අංශු තරුවෙන් ඉවතට තල්ලු කරයි. එනම් එම දූවිලි අංශු සුපිරි සුළඟක් ලෙස තරුවෙන් ඉවත අවකාශයට විහිදී යයි.

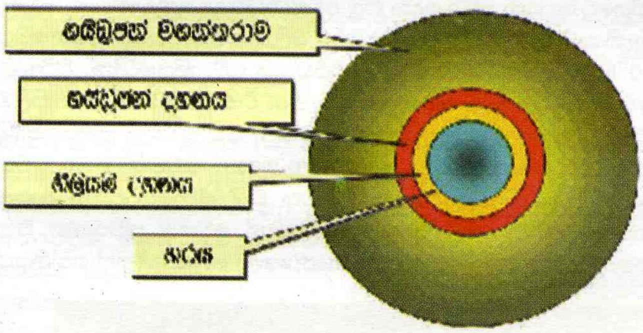
ස්පර්ශෝන්මුඛ යෝධ ශාඛාවේ මුදුනට තාරකාව පැමිණ වීම සිදුවන්නේ කුමක්ද? දැන් තරුවේ හරයේ පවතින්නේ කාබන්ය. මෙම කාබන් විලයනය කිරීමට තරම් හරය හකුළුවා ලීමට සූර්යයාගේ ස්කන්ධයක් ඇති තරුවක ගුරුත්වාකර්ෂණය ප්‍රමාණවත් නොවේ. හරයේ ඇති කාබන් පිරිහුණු අවස්ථාවේ පවතින බැවින් තරුවේ හරය ගුරුත්වය යටතේ කඩා වැටීමට නොදී පවත්වා ගැනීමට තරම් ප්‍රමාණවත් පීඩනයක් ඇතිකරයි.

තරුවේ අවසානය, ග්‍රහලෝක නීහාරිකා සහ සුදු වාමනයෝ

තරකාවේ න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියා අවසන් වන විට තරුවේ බාහිර ස්ථර අභ්‍යන්තරයට කඩා වැටීම සිදුවේ. එම ස්ථර, පිරිහුණු අවස්ථාවේ ඇති ඝනත්වය ඉතා අධික බලයකින් හරයේ වැදීම

නිසා නැවතත් අවකාශයට පැනීමක් සිදුවේ. මෙලෙස තරුවේ බාහිර ස්ථර අවකාශයට විසිවූ විට එය ග්‍රහලෝක නිහාරිකාවක් (planetary nebulae) ලෙස දර්ශනය වේ. එහි මැද තරුවේ හරය වූ පිරිහුණු අවස්ථාවේ පවතින උෂ්ණත්වය 100,000^{0}ණ පමණ වන කුඩා වාමන තරුවක් (white dwarf) ඉතිරි වේ. මෙම නිහාරිකාවට (nebulae) ග්‍රහලෝක නීහාරිකාවක් ලෙස නම් කර ඇත්තේ එය සූර්යයා වටා ඇති ග්‍රහලෝක පද්ධතියකට ස්වරූපය ගන්නා නිසාය. ග්‍රහලෝක නීහාරිකාවන් විවිධ හැඩයන්ගෙන් යුක්ත වන අතර මෙසේ වීමට හේතුව තවම නිසි ආකාරයෙන් සොයා ගෙන නොමැත. මියයන තරුව, අවට අවකාශයේ ස්වභාවය, තරුව එහි වහන්තරාව හෙවත් බාහිර ස්ථරය (envelop) අවකාශයට විසිකරනු ලබන ආකාරය සහ තරුවේ භ්‍රමණ වේගය යන කරුණු මෙලෙස ග්‍රහලෝක නිහාරිකාවලට විවිධ හැඩ ලැබීමට හේතුවේ.

වාමන තරුවක ඇති පිරිහුණු අවස්ථාවේ ඇති ද්‍රව්‍ය වලින් තරුව ගුරුත්වාකර්ෂණයට එරෙහිව කඩාවැටීම නැවැත්විය හැකි වන්නේ තරුවේ ස්කන්ධය සූර්යයාගේ ස්කන්ධය මෙන් 1.4 $M_{\odot}$ වඩා අඩු



රූ සටහන 8: කබොලේ ද්විත්ව හයිඩ්‍රජන් සහ හීලියම් දහනය

වුවහොත් පමණයි. මෙය සුබ්‍රමනියම් චන්ද්‍රසේකර් විසින් සොයාගන්නා ලද අතර එයට අපි "චන්ද්‍රසේකර සීමාව" ලෙස කියමු.

සුදු වාමන තාරකාවක දත්තයන්

ප්‍රමාණය - පොළවේ විෂ්කම්භය මෙන් 3/4
ස්කන්ධය - සාමාන්‍යයෙන් සූර්යයාගේ ස්කන්ධය මෙන් 0.6 සිට 1.0 දක්වා. වඩා සැහැල්ලු ඒවා 0.15 $M_{\odot}$ සහ වඩා බර වාමනයෝ 1.2 $M_{\odot}$ පමණ වේ.
ඝනත්වය - 3000 $Kg\ cm^{-3}$
මතුපිට උෂ්ණත්වය - සූර්යයාගේ මතුපිට උෂ්ණත්වය මෙන් 1-10 දක්වා

සුදු වාමන තාරකාවක අභ්‍යන්තරයේ බලශක්ති ප්‍රභවයක් නැති බැවින් එය කාලයත් සමග සිසිල් වී අවසානයේ දී අඳුරු කළු වාමනයෙක් (black dwarf) බවට පත්වේ.
සුදු වාමනයක් කළු වාමනයක් බවට පත්වීමට තරම් තවම විශ්වය මහළු වී නොමැත.

අපි දැන් විවිධ ස්කන්ධ වලින් ආරම්භ වූ තාරකා විකාශය වන අයුරු කෙටියෙන් සලකා බලමු.

<0.07 $M_{\odot}$ - මෙවැනි තරුවලට, හයිඩ්‍රජන් දහනය කිරීමට තරම් ස්කන්ධයක් නොමැත.

0.07-0.5 $M_{\odot}$ - මෙම තරු හයිඩ්‍රජන් දහනය කරන අතර යෝධ ශාඛාව මුදුනට පැමිණි පසු හීලියම් දහනය කිරීමට තරම් ප්‍රමාණවත් ස්කන්ධයක් නොමැත.

0.5-2.2 $M_{\odot}$ - මෙම පරාසය ඇති තරු අප සාකච්ඡා කළ පරිදි ප්‍රධාන අනුක්‍රමයේ සිට සුදු වාමනයකු දක්වා විකාශය වේ.

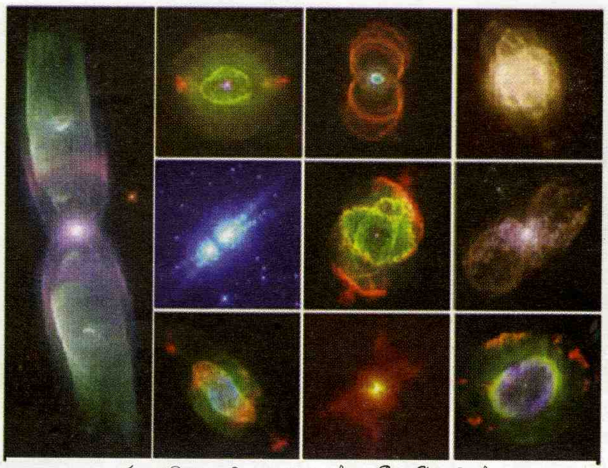
2.2-8.0 $M_{\odot}$ - මෙම තරුවල හීලියම් ජ්වලනය ඇතිවන්නේ නැත. මක්නිසාද යත් මෙම තරුවල හීලියම් පිරිහුණු අවස්ථාවේ නොතිබෙන නිසා. එහෙත් පසුව ඇතිවන කාබන් හරය පිරිහුණු අවස්ථාවේ පවතී. මෙම හරය දහනය වුවහොත් එය "සුපර් නෝවා" පිපුරුමක් ලෙස අවසන් වේ. මෙම ස්කන්ධ පරාසයක් ඇති තරුවලින් සුපර් නෝවා සොයා ගෙන නොමැත. තාරකා විද්‍යාඥයන් මෙම තරු වලින් සුපිරි තාරකා සුළඟක් මගින් එහි ඇති ද්‍රව්‍ය විශාල ලෙස තාරකාවෙන් ඉවත් වන බව පවසයි. එම නිසා මෙවැනි තරුවල කාබන් හරය දැල්වීමට තරම් ප්‍රමාණවත් උෂ්ණත්වයක් සහ පීඩනයක් ඇති කිරීමට එම තරු අසමත් වේ. සමහර විට මෙම තරු ග්‍රහලෝක නීහාරිකා ලෙස අවසන් වේ.

8.0-10 $M_{\odot}$ - මෙම තාරකා කාබන් හරය දැල්වීමට තරම් ස්කන්ධයක් ඇත. මෙහි කාබන් පිරිහුණු අවස්ථාවේ නොපවතින නිසා එහිදී පිපුරුමක් සිදු නොවේ. කාබන් ඔක්සිජන් බවට විලයනය වන අතර ඉන්පසු ඔක්සිජන් විලයනය කිරීමට තරම් උෂ්ණත්වයක් සහ පීඩනයක් මෙම ස්කන්ධය ඇති තරුවලට ඇති කිරීමට නොහැකිය.

10 -15 $M_{\odot}$ - මෙම තරු ඔක්සිජන් විලයනය කිරීමට සමත් අතර එහි ඇති ඔක්සිජන් පිරිහුණු අවස්ථාවේ පසුවේ. එම නිසා එම තරුවේ හරය සුපර් නෝවා පිපුරුමක් ලෙස විනාශ වේ.

15-100 $M_{\odot}$ - මෙම තාරකා විශ්වයේ ඇති අධික ස්කන්ධයෙන් යුත් තාරකා වේ. මේවා පිරිහුණු අවස්ථා නොවන තත්ව යටතේ සියළුම න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියා සිදුකිරීමට සමත් වේ. එනම් H ⟶ He, He ⟶ C, C ⟶ O,O ⟶ Si සහ Si ⟶ Fe. මෙම තරුවල විකාශය ඉතා කෙටි කාලයකින් සිදුවේ. අවසානයේදී සුපර් නෝවා පිපුරුමක් ලෙස එය විනාශ වේ.

සුපර් නෝවා පිපුරුම් ප්‍රධාන වර්ග දෙකකට බෙදා වෙන් කළ හැකිය.



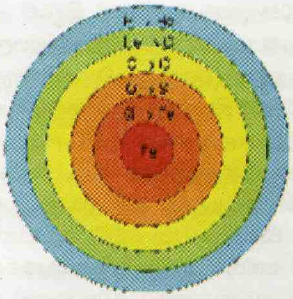
රූ සටහන 9: ග්‍රහලෝක නීහාරිකාවන්

(i.) සුපර් නෝවා පළමු වර්ගය (Type I supernovae)
(ii.) සුපර් නෝවා දෙවන වර්ගය (Type II supernovae)

සුපර් නෝවා I වර්ගයේ වර්ණාවලියේ හයිඩ්‍රජන් වලින් ඇතිවන වර්ණාවලි රේඛා දක්නට නොමැත. සුපර් නෝවා I වර්ගයේ පිපුරුම් ස්කන්ධය අඩු තාරකා වලින් සිදුවේ. මෙවැනි සුපර් නෝවා තවත් වර්ග තුනකට බෙදා ඇත.

Ia වර්ගය - ද්විත්ව තාරකා වල (binary star) ඇති වාමන තරුවෙන් ඇතිවේ.
Ib වර්ගය - පිටත හයිඩ්‍රජන් ඉවත් වූ සුපිරි යෝධයන්ගෙන් ඇතිවේ.
Ic වර්ගය - පිටත හයිඩ්‍රජන් සහ හීලියම් ඉවත් වූ සුපිරි යෝධයන්ගෙන් ඇතිවේ.

සුපර් නෝවා II වර්ගයේ වර්ණාවලියේ හයිඩ්‍රජන් අවශෝෂක වර්ණාවලි රේඛා දක්නට ඇත. මෙම පිපුරුම් අධික ස්කන්ධයක් ($>8M_{\odot}$) ඇති තරුවලින් සිදුවේ. මෙවැනි තරුවල න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියා Si → Fe (යකඩ) සෑදීම දක්වා සිදුවේ. යකඩ දක්වා මූලද්‍රව්‍ය සෑදීමේ න්‍යෂ්ටික විලයන ප්‍රතික්‍රියා මගින් ශක්තිය මුදාහැරේ. මෙම ශක්තිය මගින් තරුවේ බාහිර ස්ථර ගුරුත්වය යටතේ කඩාවැටීමට නොදී රඳවා ගනී. අධික ස්කන්ධයක් ඇති තරුවල හරයේ ඇති යකඩ විලයනය කිරීමට ආරම්භ කළ විට එම ක්‍රියාවලිය සඳහා තරුවේ ශක්තිය අවශෝෂණය වේ. මේ අවස්ථාවේ දී හරයේ න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා නතර වන අතර බාහිර ස්ථර වෙත යන විකිරණ නතර වේ. එවිට බාහිර ස්ථර එකවර තරුවේ හරය මතට කඩා වැටේ. මෙලෙස තරුව කඩා වැටෙන



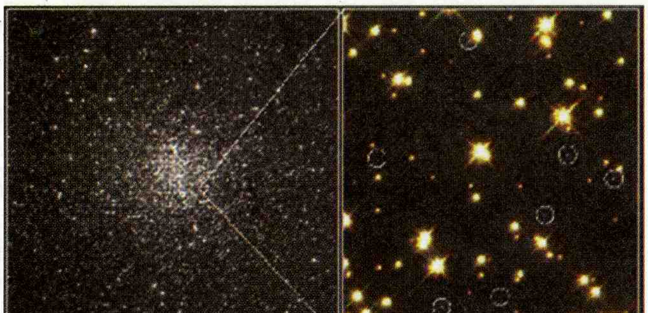
රූ සටහන 11: *ස්කන්ධය අධික තරුවක න්‍යෂ්ටික ප්‍රතික්‍රියා*

විට, ප්‍රථමයෙන් පිරිහුණු අවස්ථාවේ ඇති ඉලෙක්ට්‍රෝන වලින් තරුව කඩා වැටීම නතර කිරීමට උත්සහ කළ ද තරුවේ ස්කන්ධය වැඩි නිසා ($>1.4\ M_{\odot}$) තරුව තව දුරටත් හැකිලේ. මෙහිදී තරුවේ ඇති ප්‍රෝටෝන සහ ඉලෙක්ට්‍රෝන සම්බන්ධ වී නියුට්‍රෝන සෑදෙන අතර අතුරු ඵලයක් ලෙස නියුට්‍රිනෝ පිටකරයි. නියුට්‍රෝන විද්‍යුත් වශයෙන් උදාසීන නිසා ඒවා මුලින් ප්‍රෝටෝන සහ නියුට්‍රෝන යන වර්ග දෙක තිබූ අවස්ථාවට වඩා කුඩාවට ඇසිරීමට හැකියාව ඇත. මෙහිදී නියුට්‍රෝන වලින් සෑදුණු හරයේ ඝනත්වය $10^{17} Kgm^{-3}$ පමණ වන තෙක් සම්පීඩනය වේ. නියුට්‍රෝන, පිරිහුණු අවස්ථාවට (nuclear degeneracy) පැමිණ වීම තරුවේ හරය හැකිලීම එකවිට නතර වන අතර එය තරමක් ආපසු පොලා පනී. මෙහිදී ඇතිවන පීඩන තරංගය (pressure wave) තවමත් හරය වෙත කඩා වැටෙන ඇතුලත ස්ථර වෙත වැදී ඒවායේ දිශාව ආපසු හරවයි. එවිට මෙම පදාර්ථ තරුවෙන් ඉවතට ත්වරණය වන අතර ඒවා කම්පන තරංගයක් (shock wave) ලෙස ඉමහත් ශක්තියක්

රූ සටහන 12: *1987 සුපර් නෝවා පිපිරීම පෙර, පිපිරෙන සහ පසු*

පිටකරමින් අවකාශයට මුදා හරියි. මෙය "සුපර් නෝවා පිපිරීම" නම් වේ. සුපර් නෝවා පිපිරීමකින් පසු තරුවේ හරය නියුට්‍රෝන තාරකාවක් (nutron star) හෝ ගුරුත්වාකර්ෂණ ක්ෂේත්‍රය අධිකම වස්තුවක් වන "කළු කුහරයක්" (black hole) බවට හෝ පත්වේ.

විශ්වයේ, යකඩ වලට වඩා බර මූලද්‍රව්‍ය එනම් Co, Ni, Cu, Zn ... යනාදිය යකඩ වලට නියුට්‍රෝන ග්‍රහණය කිරීමේ න්‍යෂ්ටික සංස්ලේෂණ (neutron capture nucleosynthesi) ක්‍රියාවලින් බිහිවේ.



රූ සටහන 10: *සුදු වාමන තාරකා*

සරාජ් ගුණසේකර
B.Sc (SP)*(භෞතික විද්‍යා)*
පර්යේෂණ විද්‍යාඥ
නවීන තාක්ෂණය පිළිබඳ ආතර් සී ක්ලාර්ක් ආයතනය