ಲೇಖನ

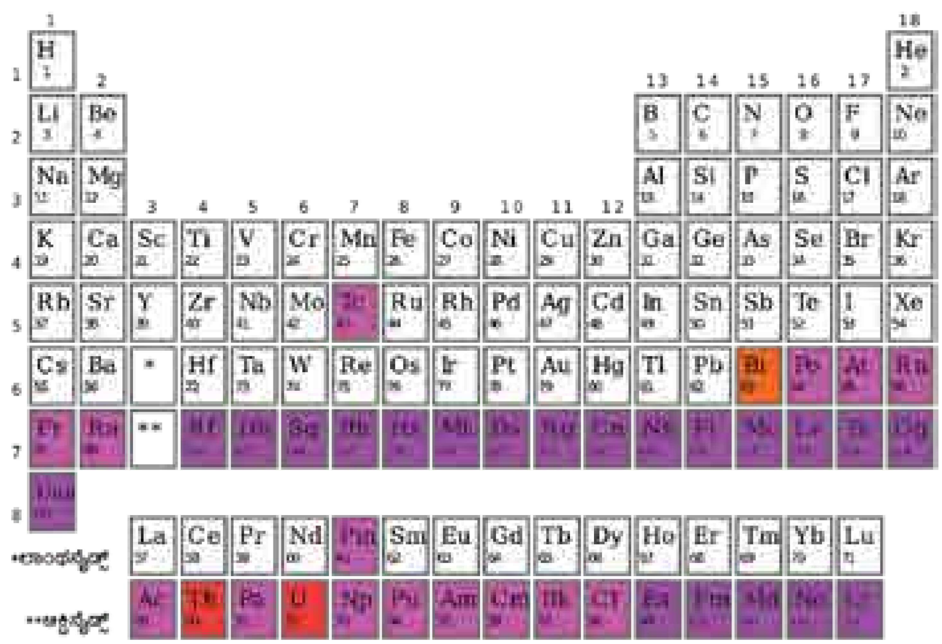
ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವಿಕಾಸ

ಆನಂದ್ ನಾರಾಯಣನ್

ಮಾನವನ ಜೀವತಾವಧಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದಾಗ ಸೂರ್ಯ ಮತ್ತು ಇತರ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಶಾಶ್ವತ ಆಕಾಶ ಕಾಯಗಳು ಎನಿಸುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ನಕ್ಷತ್ರಗಳೂ ಹುಟ್ಟುತ್ತವೆ; ಸಾಯುತ್ತವೆ. ಹಾಗಾಗದೇ ಹೋಗಿದ್ದಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಕಥೆಯನ್ನು ಹೇಳಲು ನಾವಿಲ್ಲಿರುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಹಿಂದೆಂದೋ ಸಾವಿಗೀಡಾದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಂದಾಗಿ ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ ಜೀವಿಗಳ ಆವಿರ್ಭಾವ ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಈ ಲೇಖನವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವಿಕಾಸದ ಚಿತ್ತಾಕರ್ಷಕ ಗಾಥೆಯತ್ತ ಒಂದು ನೋಟವನ್ನು ಬೀರುತ್ತದೆ.

ಭೂಮಿಯ ಮೇಲಿನ ಎಲ್ಲ ಸಜೀವ ಮತ್ತು ನಿರ್ಜೀವ ವಸ್ತುಗಳ ಮೂಲ ರಾಸಾಯನಿಕ ನಿರ್ಮಾಣ ಘಟಕಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುವ, ಹಲವು ಸಾಲುಗಳು ಮತ್ತು ಸ್ತಂಭಗಳುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕವು (Periodic Table) ನೋಡಲು ಹೇಗಿರುವುದೆಂದು ನಮ್ಮೆಲ್ಲರಿಗೂ ತಿಳಿದೇ ಇದೆ. (**ಚಿತ್ರ 1** ನೋಡಿ). ಆದರೆ, ಈ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಎಲ್ಲಿಂದ ಬರುತ್ತವೆಂದು ನೀವು ಎಂದಾದರೂ ಆಶ್ಚರ್ಯಪಟ್ಟಿದ್ದೀರಾ? ನಾವು ಉಸಿರಾಡುವ ಆಮ್ಲಜನಕ, ನಮ್ಮ ಮೂಳೆಯಲ್ಲಿನ ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ, ನಮ್ಮ ರಕ್ತದಲ್ಲಿರುವ ಕಬ್ಬಿಣ, ಹಾಗೂ ನಮ್ಮ ಡಿ.ಎನ್.ಎ ನಲ್ಲಿರುವ ಸಾರಜನಕ – ಇವೆಲ್ಲಾ ಎಲ್ಲಿಂದ ಬಂದವು ಮತ್ತು ಇಂಥ ವೈವಿಧ್ಯತೆ ಯಾವ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗಿವೆ?

ನಂಬಲಸಾಧ್ಯವೆನಿಸಿದರೂ ಇಡೀ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದಲ್ಲಿ ನೈಸರ್ಗಿಕವಾಗಿ ದೊರಕುವ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಯಾಗಲು



ಚಿತ್ರ 1. ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕ.

ಕೃಪೆ: Incnis Mrsi, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table,_good_SVG.svg. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY-SA.

ಸಾಧ್ಯವಿರುವ ಒಂದೇ ಒಂದು ತಾಣವಿದೆ –ಅದೇ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಒಳಭಾಗ. ಬಹುಕಾಲದ ಹಿಂದೆ ಜೀವಿಸಿ, ಸಾವನ್ನಪ್ಪಿದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಇಲ್ಲದೇ ಹೋಗಿದ್ದರೆ ಭೂಮಿಯಂತಹ ಗ್ರಹವಾಗಲಿ ಮತ್ತು ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಿರುವ ಇಲ್ಲಿನ ಜೀವಿಗಳಾಗಲಿ ಇರುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ.

ಜೀವಿಗಳ ವಿಕಾಸಕ್ಕೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವಿಕಾಸವು ಹೇಗೆ ಕಾರಣವಾಯಿತು ಎಂಬುದನ್ನು ಅರ್ಥ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಅವುಗಳ ರೋಚಕ ಜೀವನದತ್ತ ನಿಕಟ ನೋಟ ಬೀರೋಣ– ಯಾವುದರಿಂದಾಗಿ ಅವು ಅಷ್ಟು ಪ್ರಜ್ವಲವಾಗಿ ಬೆಳಗುತ್ತವೆ? ಅವುಗಳ ಪ್ರಾಜ್ವಲ್ಯ ನಿಂತುಹೋದಾಗ ಏನಾಗುತ್ತದೆ?

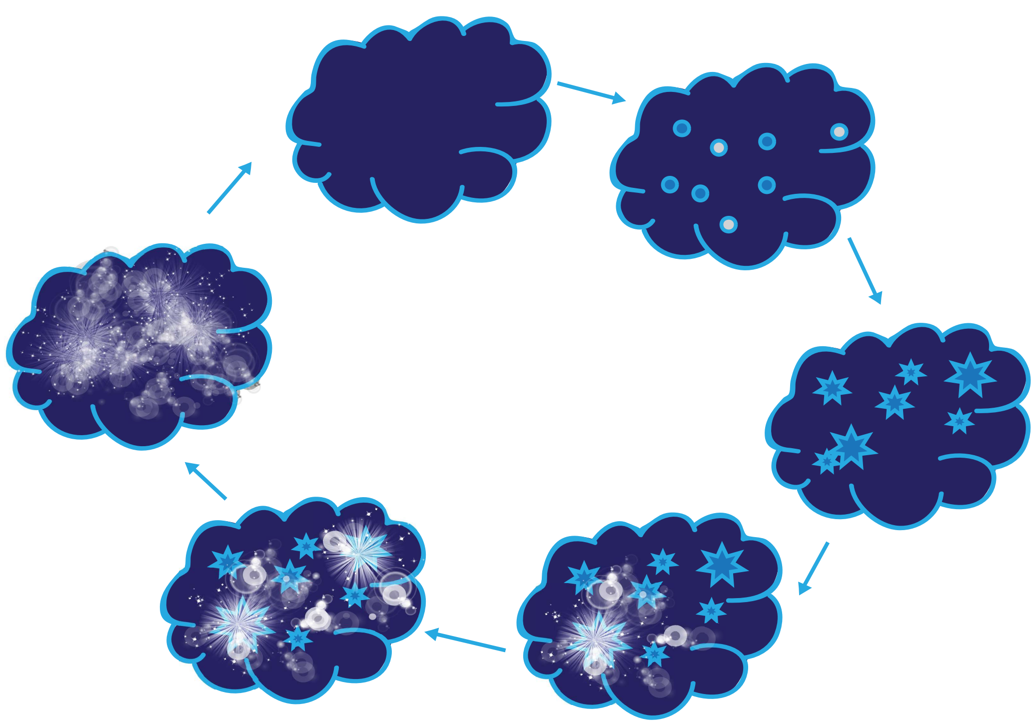
ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವನಚಕ್ರ

ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವನದ–ಹುಟ್ಟಿನಿಂದ ಹಿಡಿದು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಬುದ್ಧ ರೂಪದತ್ತ ಅವುಗಳ ವಿಕಾಸ ಹಾಗೂ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಅವುಗಳ ಸಾವು – ಒಟ್ಟಾರೆ ಈ ಎಲ್ಲ ಹಂತಗಳನ್ನು ಖಗೋಳ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವನ ಚಕ್ರ ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ (**ಚಿತ್ರ 2**. ನೋಡಿ). ಇಲ್ಲಿ 'ಜೀವನಚಕ್ರ' ಎಂಬ ಪದವು ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಮರುಕಳಿಸುತ್ತಿರುತ್ತದೆ ಎಂದು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ನಿಜಕ್ಕೂ ಹಾಗೆಯೇ ಮರುಕಳಿಸುತ್ತದೆ. ಅಂತರತಾರಾ ಮಾಧ್ಯಮದಲ್ಲಿ (ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ನಡುವಣ ಜಾಗ) ಜಲಜನಕ ಅನಿಲದ ಮೋಡಗಳಿಂದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹುಟ್ಟುತ್ತವೆ. ಅವು ಸತ್ತಾಗ, ಅದೇ ಅನಿಲವನ್ನು ಅಂತರತಾರಾ ಮಾಧ್ಯಮಕ್ಕೆ ಮತ್ತೆ ಭರ್ತಿ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಒಂದೇ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿದೆ, ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಅಂತರತಾರಾ ಮಾಧ್ಯಮಕ್ಕೆ ರಭಸದಿಂದ ವಾಪಸ್ಸು ಎಸೆಯುವ ಅನಿಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ತಮ್ಮ ಜೀವಿತಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸಂಶ್ಲೇಷಿಸಿರುವ, ಜಲಜನಕ ಅನಿಲಕ್ಕಿಂತ ಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಂದ ತುಂಬಿಹೋಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ, ಪ್ರತಿ ನಕ್ಷತ್ರದ ಸಾವು ತನ್ನ ಸುತ್ತಲಿನ ಅಂತರತಾರಾ ಮಾಧ್ಯಮವನ್ನು ಇನ್ನೂ ಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಂದ ಸಮೃದ್ಧಗೊಳಿಸುತ್ತದೆ. ಹೊಸ ಪೀಳಿಗೆಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಈ ಅಂತರತಾರಾ ಅನಿಲದಿಂದ ಹುಟ್ಟುವುದರಿಂದ, ಈ ಚಕ್ರ ಪುನರಾವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತಿರುತ್ತದೆ.

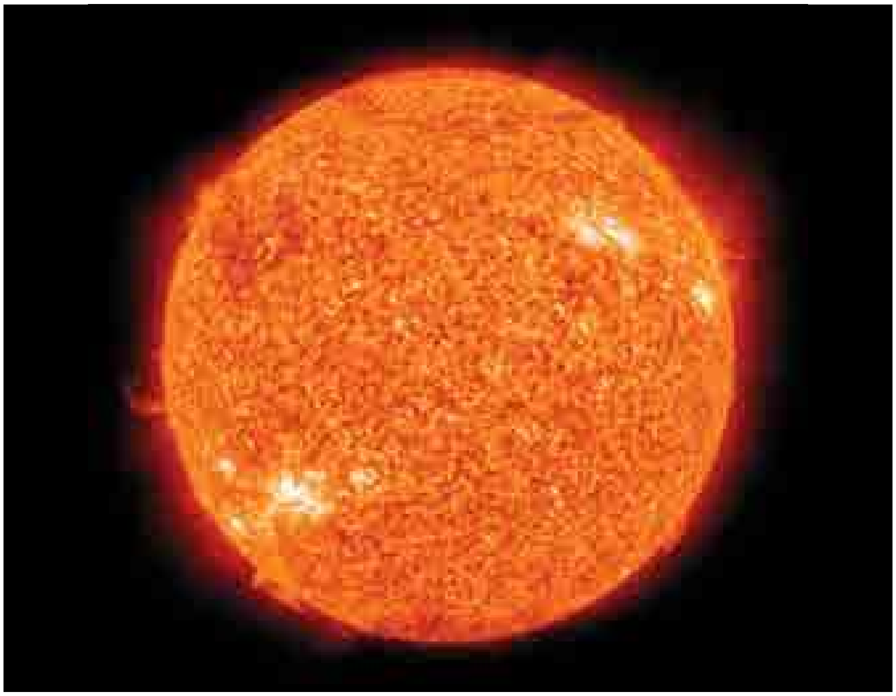
ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಹುಟ್ಟು

ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಹೀಲಿಯಂ ಉಳ್ಳ ಜಲಜನಕ ಅನಿಲದ ಬೃಹತ್ ಚೆಂಡಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಜನ್ಮ ತಾಳುತ್ತವೆ. ಜಲಜನಕದಿಂದ ಮೊದಲುಗೊಂಡು ಇತರ ಹಗುರ ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಂದ ಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಸೃಷ್ಟಿಮಾಡುವಿಕೆ ಅವುಗಳ ಇಡೀ ಜೀವನದ ಗುಣ ಲಕ್ಷಣವಾಗಿದೆ. ಆದರೆ, ಇದು ನಮಗೆ ಹೇಗೆ ಗೊತ್ತು?

ನಮ್ಮದೇ ನೀಹಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಶತಕೋಟಿ ತಾರೆಗಳಿದ್ದರೂ, ಅವೆಲ್ಲಾ ನಮ್ಮಿಂದ ಅತ್ಯಂತ ದೂರದಲ್ಲಿವೆ. ಒಂದು ವೇಳೆ ಅಷ್ಟು ದೂರಕ್ಕೆ ಪ್ರಯಾಣಿಸಲು ಒಂದು ಉಪಾಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರೂ, ಅವುಗಳ ಮೇಲಿಳಿಯುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಗದ ವಿಷಯ. ಏಕೆಂದರೆ ಅವು ಹೊರಬಿಡುವ ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯ ಮುಂದೆ ನಾವು ಬದುಕುಳಿಯಲಾರೆವು (**ಚಿತ್ರ 3**. ನೋಡಿ). ಇಷ್ಟೆಲ್ಲಾ ಕಷ್ಟಗಳ ನಡುವೆಯೂ ಅವುಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲು ನಾವು ಜಾಣ್ಮೆಯ ಕೆಲ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಹುಡುಕಿದ್ದೇವೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವು ನಮಗೆ ಅತ್ಯಂತ ನಿಕಟ ನಕ್ಷತ್ರವಾದ ಸೂರ್ಯನ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನು ಆಧರಿಸಿವೆ. ಮೊದಲು ಅಶ್ರಗಗಳ (prisms) ಮೂಲಕ, ನಂತರ ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚು ಸಂಕೀರ್ಣವಾದ ರೋಹಿತಮಾಪಕ (Spectrometers)ಗಳ ಮೂಲಕ ಕೈಗೊಂಡ ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಿನ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಗಳು ಕುತೂಹಲ ಮೂಡಿಸುವ ಕಪ್ಪು ರೇಖೆಗಳ ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತವೆ.



ಚಿತ್ರ 2. ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವನಚಕ್ರ. ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಅಂತರತಾರಾ ಅನಿಲ ಮೋಡಗಳಿಂದ ಹುಟ್ಟುತ್ತವೆ. ಅಂತಹ ಮೋಡಗಳ ಒಳಗೆ ಉಂಟಾಗುವ ತುಂಡು ತುಂಡಾಗುವ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ (fragmentation) ಒಂದಲ್ಲ, ಹಲವಾರು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಜನ್ಮ ತಾಳುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳವು (ಸೂರ್ಯನಂತೆ). ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳವು. ತಾರೆಗಳು ಕೆಲವು ನೂರು ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳಿಂದ ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ತನಕ ಜೀವಿಸುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳ ಜೀವಿತಾವಧಿ ಮುಗಿದಾಗ ತಮ್ಮ ಜೀವನ ಪರ್ಯಂತ ಸಂಶ್ಲೇಷಿಸಿದ ಹೆಚ್ಚು ಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಅಂತರತಾರಾ ಮಾಧ್ಯಮಕ್ಕೆ ಪುನಃ ಎಸೆದುಬಿಡುತ್ತವೆ. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY-NC.



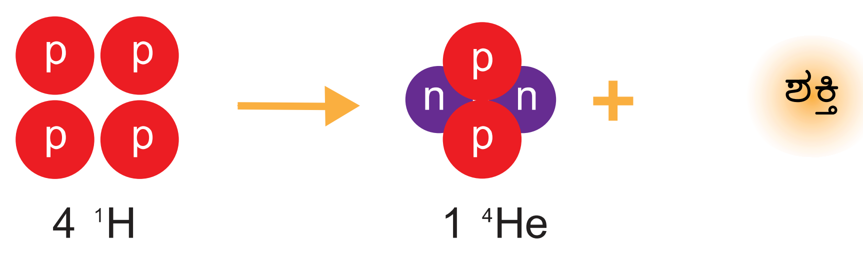
ಚಿತ್ರ 3. SOHO ಅಂತರಿಕ್ಷ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯದಿಂದ ತೆಗೆದ ಸೂರ್ಯನ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ. ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈಯು ಸುಮಾರು 6500 ಕೆಲ್ವಿನ್ ತಾಪಮಾನ ಹೊಂದಿರುವುದು.

ಕೃಪೆ: NASA/SDO (AIA), Wikimedia Commons. URL: https://simple.wikipedia.org/wiki/File:The_Sun_by_the_Atmospheric_Imaging_Assembly_of_NASA%27s_Solar_Dynamics_Observatory_-_20100819.jpg. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY.

ಕೆಲವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ತರಂಗಾಂತರದ ಬೆಳಕನ್ನು ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈ ಪದರಗಳಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ ಈ ರೇಖೆಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ ಎಂದು ಪರಮಾಣು ರೋಹಿತಗಳ ಬಗೆಗಿರುವ ನಮ್ಮ ತಿಳುವಳಿಕೆಯಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಪರಮಾಣುಗಳು ಬಹುತೇಕ ಜಲಜನಕ, ಸೋಡಿಯಂ, ಹೀಲಿಯಂ, ಮೆಗ್ನೀಷಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ಯಾಲ್ಷಿಯಂ ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗಿರಬಹುದೆಂದು ತರ್ಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಈ ಪರಿವೀಕ್ಷಣೆಗಳು ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈನ ಸಂಯೋಜನೆಯನ್ನು ಕುರಿತು ಅಧ್ಯಯನ ಕೈಗೊಳ್ಳಲು ಮಾತ್ರ ಅನುವು ಮಾಡಿಕೊಡುತ್ತವೆ. ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನ ಭಾಗದಲ್ಲಿನ ಸಂಯೋಜನೆ ಹೇಗಿದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ನಾವು ಹೇಗೆ ತಿಳಿಯ ಬಹುದು? ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನ (nuclear fusion)ವೆಂಬ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಜಲಜನಕ ಪರಮಾಣುಗಳು ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು (**ಚಿತ್ರ 4** ನೋಡಿ) ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುತ್ತಾ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳಾಗಬಲ್ಲವು ಎಂಬ ವಿಚಾರ 1930 ರ ದಶಕದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಗಮನ ಸೆಳೆಯಲಾರಂಭಿಸಿತು. ಆದರೂ, ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಜರುಗಿ ಅದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬಹುದೆಂಬ ವಿಚಾರಕ್ಕೆ ಸಾಕ್ಷ್ಯಾಧಾರಗಳನ್ನು ಹುಡುಕಿ ತೆಗೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದ್ದು 1985ರಲ್ಲಿ. ಕೆಮಿಯೊಕಾಂಡೆ (ಸೂಪರ್–ಕೆ) (Kamiokande) ಪತ್ತೆಕಾರಕಗಳು (Detectors) ಎಂಬ ಸಾಧನಗಳು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಗೊಂಡಿದ್ದರಿಂದ ಈ ಸಾಕ್ಷ್ಯಾಧಾರ ಲಭ್ಯವಾಯಿತು. ಈ ಪತ್ತೆಕಾರಕಗಳನ್ನು ಭೂಮಿಯ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ಸುಮಾರು 1000 ಮೀಟರ್ ಕೆಳಗೆ ಹುದುಗಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಸೌರ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಗಳಂತಹ ಉಪಪರಮಾಣು ಕಣಗಳನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದು, ಅವುಗಳ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವಂತೆ ಈ ಪತ್ತೆಕಾರಕಗಳನ್ನು ವಿನ್ಯಾಸಗೊಳಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಸರ್ವೇಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪ್ರೇತ–ಕಣಗಳೆಂದು (Ghost Particles) ಕರೆಯಲಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಗಳು ಅತಿ ಚಿಕ್ಕ ಗಾತ್ರದ, ಆವೇಶವಿಲ್ಲದ, ಇಲ್ಲವೇ ಇಲ್ಲ ಎನ್ನುವಷ್ಟು ಕಡಿಮೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಇರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣಗಳಾಗಿದ್ದು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಹತ್ತಿರದ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಬೇರೆ ಯಾವುದೇ ವಿಧಾನ ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿಲ್ಲವಾದ್ದರಿಂದ ಈ ಕಣಗಳ ಇರುವಿಕೆಯೇ ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನ ಒಳಗೆ ಜರುಗುತ್ತಿರುವ ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನಕ್ಕೆ ಪ್ರತ್ಯಕ್ಷ ಸಾಕ್ಷಿ ಎಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದೆ.

ನಮ್ಮ ಬರಿಗಣ್ಣಿಗೆ ಕಾಣುವ ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈಗೆ ತೇಜೋಮಂಡಲ (ಅಥವಾ ದ್ಯುತಿಗೋಳ, Photosphere) ಎನ್ನುವರು. ಒಂದು ಅಂದಾಜಿನಂತೆ ಫೋಟಾನುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ 3.8×10^{26} J ಅಷ್ಟು ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತಿರುವುದು ಈ ಪದರದ ಮೂಲಕವೇ (**ಬಾಕ್ಸ್ 1** ನೋಡಿ). ಈ ಶಕ್ತಿಯು ಭಾರತದ ಎಲ್ಲ ಜಲವಿದ್ಯುತ್ ಸ್ಥಾವರಗಳು ಒಂದು ವರ್ಷದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಗಿಂತ ಒಂದು ಶತಕೋಟಿ ಪಟ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗಿದೆ! ವಾಸ್ತವದಲ್ಲಿ, ತೇಜೋಮಂಡಲದ ಮುಖಾಂತರ ಹೊರಬರುವ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಎಷ್ಟೋ ಅಧಿಕ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು

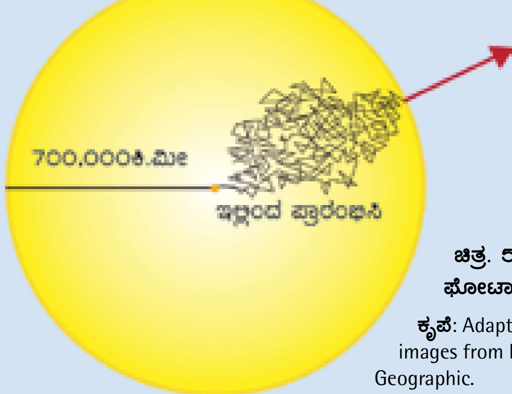


ಚಿತ್ರ 4. ಸೂರ್ಯನು ಪ್ರಕಾಶಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ ಜಲಜನಕದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳು (ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು) ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಆಗುವುದು. ನಾಲ್ಕು ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳು ಒಟ್ಟಿಗೆ ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಆಗುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ನಾಲ್ಕು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಿಂತ ಶೇಕಡಾ 0.7% ನಷ್ಟು ಕಡಿಮೆಯಿರುತ್ತದೆ. ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯಲ್ಲಿನ ಈ ಕೊರತೆಯು ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗಿ ಸೂರ್ಯನ ಒಳಭಾಗದ ಶಾಖವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಶಾಖವು ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ವಿಕಿರಣಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ಕೃಪೆ: Adapted from Pearson Education, publishing as Addison Wesley.

ಬಾಕ್ಸ್ 1. ಒಂದು ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳ ಪ್ರಯಾಣ

ಫೋಟಾನುಗಳು ಬೆಳಕಿನ ಕಣಗಳು. ನಕ್ಷತ್ರದ ಒಳಗಿದ್ದಾಗ, ಫೋಟಾನುಗಳು ಅನಿಲದ ಕಣಗಳಿಂದ ಸತತವಾಗಿ ಚದುರಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇಂಥ ಒಂದೊಂದು ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲೂ ಅವು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. (**ಚಿತ್ರ 5** ನೋಡಿ) ಹೀಗೆ, ಅವು ಸೂರ್ಯನ ಹೊರಪದರಗಳ ಬಳಿಗೆ ಬರುವ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿ ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟಿತ್ತೊ ಅದಕ್ಕಿಂತ ಒಂದು ದಶಲಕ್ಷ ಪಟ್ಟು ಕಡಿಮೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಬಾಹ್ಯಾಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಮುಕ್ತವಾಗಿ ಪ್ರವಹಿಸುವ ಈ ಫೋಟಾನುಗಳನ್ನೇ ನಾವು ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕಾಗಿ ಕಾಣುವುದು.



ಚಿತ್ರ. 5. ಬೆಳಕಿನ ಫೋಟಾನಿನ ಪಥ.

ಕೃಪೆ: Adapted from images from National Geographic.

ಯಾವುದೇ ಫೋಟಾನು ನಕ್ಷತ್ರದೊಳಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಮತ್ತು ಅಯಾನುಗಳಿಗೆ ಬಡಿಯುವ ಮುನ್ನ ಕೇವಲ ಒಂದು ಮಿಲಿಮೀಟರ್‌ನ ಹತ್ತನೇ ಒಂದು ಭಾಗದಷ್ಟು ಮಾತ್ರ ಚಲಿಸಲು ಸಾಧ್ಯ ಎಂದು ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳು ತೋರಿಸಿವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಫೋಟಾನು ಚಲಿಸುವ ಪಥವು ಅತ್ಯಂತ ಅಂಕುಡೊಂಕಾಗಿ ಇರಲೇಬೇಕಲ್ಲದೆ, ಆ ಪಥದ ಪ್ರತಿ ಹೆಜ್ಜೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಅಲ್ಪ ದೂರವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಕ್ರಮಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅಂತಹ ಚಲನೆಯನ್ನು **ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ನಡಿಗೆ** (Random Walk) ಎನ್ನುತ್ತಾರಲ್ಲದೆ, ಅದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಕೆಲವು ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಸಹ ರೂಪಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಅಂತಹ ಒಂದು ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ, 'd' ಒಂದರ ನಂತರ ಒಂದರಂತೆ ಬರುವ ಎರಡು ಚದುರುವಿಕೆಗಳ ನಡುವೆ ಕಣವು ಚಲಿಸುವ ದೂರವಾದರೆ, ಅಂತಹ 'N' ಚದುರುವಿಕೆಗಳ ನಂತರ ಕಣವು ಚಲಿಸಿರುವ ಒಟ್ಟು ದೂರ sqrt(N) x d.

ಸವಾಲು: ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಫೋಟಾನು ಅದರ ಮೇಲ್ಮೈ (Photosphere) ತನಕ ತಿಣುಕಾಡಿ ಬರಲು ಎಷ್ಟು ಕಾಲ ಹಿಡಿಯುವುದೆಂದು ನೀವು ಸುಲಭವಾಗಿ ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಬಹುದು. ಸೂರ್ಯನ ತ್ರಿಜ್ಯ 700,000 ಕಿಲೋಮೀಟರುಗಳು. ಎರಡು ಅನುಕ್ರಮ ಚದುರುವಿಕೆಯ ನಡುವೆ ಒಂದು ಫೋಟಾನು ಒಂದು ಮಿಲಿಮೀಟರ್‌ನ ಹತ್ತನೇ ಒಂದು ಭಾಗದಷ್ಟು ದೂರ ಚಲಿಸಲು ಸಮರ್ಥವಾಗುವುದೆಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಿ. ಫೋಟಾನು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ ದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಸುಮಾರು 300,000 ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತದೆ.

ಸುಳಿವು: ಸೂರ್ಯನ ಒಳಗಿನ ದೂರವನ್ನು (ಸೂರ್ಯನ ತ್ರಿಜ್ಯ) ಕ್ರಮಿಸಲು ಫೋಟಾನು ಎಷ್ಟು ಸಣ್ಣ ಹೆಜ್ಜೆಗಳಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಬೇಕು ಎಂದು ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಿ. ಸೂರ್ಯನ ತ್ರಿಜ್ಯ ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದ 'N' ಆಗುವುದು. ಅದನ್ನು 0.1 ಮಿಲಿಮೀಟರ್‌ನಿಂದ, ಅಂದರೆ, ಪ್ರತಿ ಹೆಜ್ಜೆಯಲ್ಲಿ ಕ್ರಮಿಸುವ ದೂರದಿಂದ, ಗುಣಿಸಿ. ಇದರಿಂದ, ಫೋಟಾನು ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಿಂದ ಮೇಲ್ಮೈ ವರೆಗೆ ಎಷ್ಟು ದೂರ ಚಲಿಸಿರುವುದು ಎಂದು ನಿಮಗೆ ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಆ ದೂರವನ್ನು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಿಂದ ಭಾಗಿಸಿ. ಆಗ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಫೋಟಾನು ಮೇಲ್ಮೈ ತಲುಪಲು ಎಷ್ಟು ಕಾಲ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುವುದೆಂದು ತಿಳಿಯುತ್ತದೆ.

ನಿಮಗೆ ಈ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದಿಂದ ಸುಮಾರು 5 ಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳು ಎಂಬ ಉತ್ತರ ಸಿಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕು ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಗೊಂಡು ಹೊರಬರಲು ಅಷ್ಟು ಕಾಲ ಬೇಕು ಎಂಬುದು ತಿಳಿಯುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಕುರಿತು ಸ್ವಲ್ಪ ಚಿಂತಿಸಿ. ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನಗೊಂಡ ಫೋಟಾನು ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈ ವರೆಗೆ ಇರುವ 700,000 ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರ ಕ್ರಮಿಸಲು 5 ಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ಸಮಯವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ತೇಜೋಮಂಡಲವನ್ನು (Photosphere) ದಾಟಿದಾಕ್ಷಣ ಫೋಟಾನು ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಭೂಮಿಗಿರುವ 150,000,000 ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರವನ್ನು ಕೇವಲ 8 ನಿಮಿಷಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮಿಸುವುದು! ಈ ವ್ಯತ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ಪ್ರಯಾಣ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಫೋಟಾನಿಗೆ ಎದುರಾಗುವ ದ್ರವ್ಯದ ಸಾಂದ್ರತೆ. ಸೂರ್ಯನೊಳಗಿರುವ ದ್ರವ್ಯ ಅಥವಾ ಪದಾರ್ಥದ ಸಾಂದ್ರತೆಯು ಭೂಮಿ ಮತ್ತು ಸೂರ್ಯರನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ವಿಶಾಲ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿರುವ ಮಾಧ್ಯಮದ ಸಾಂದ್ರತೆಗಿಂತ ನೂರು ಸಾವಿರ ಪಟ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

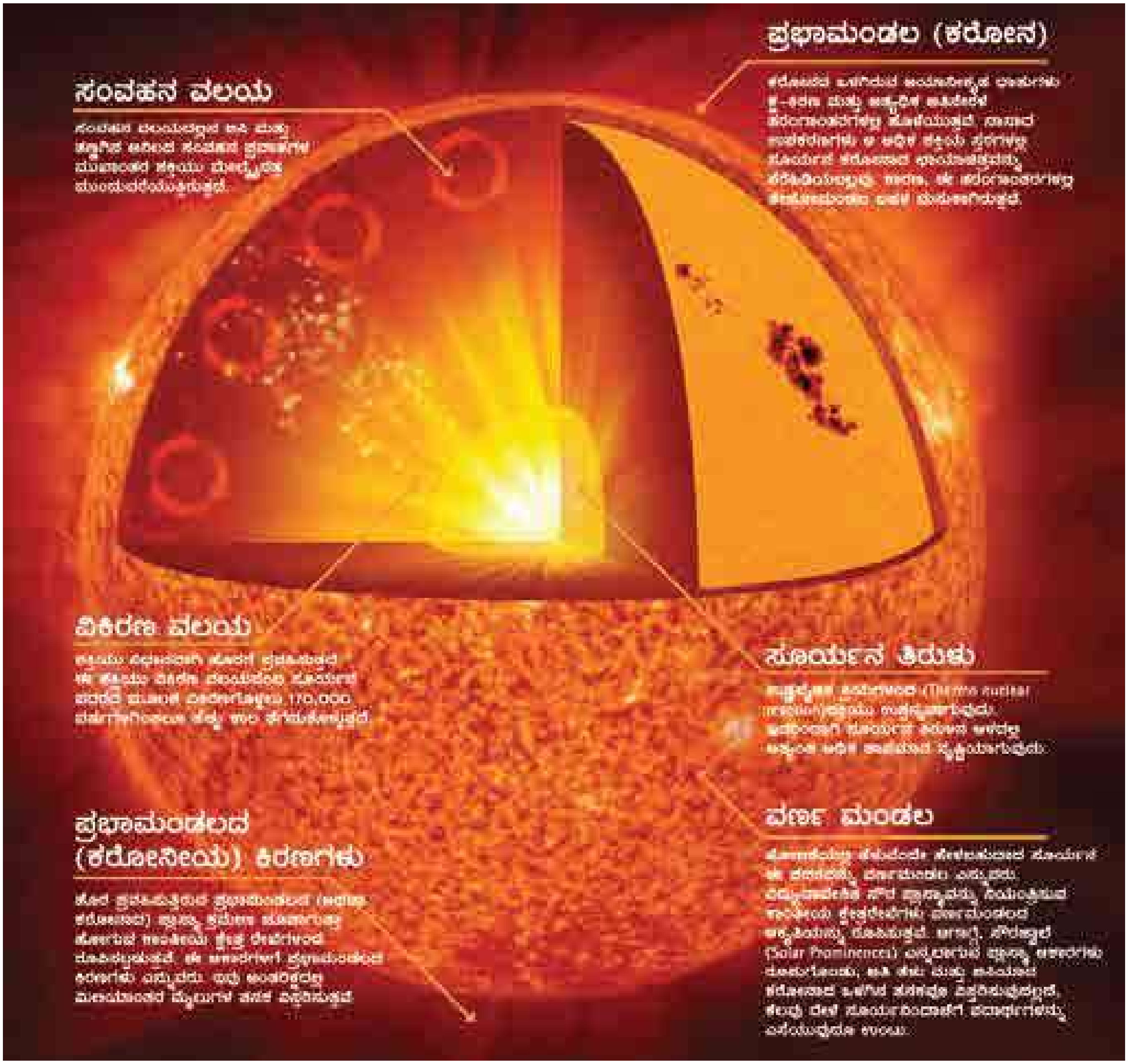
ಸೂರ್ಯನ ಒಳಗೆ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಬಹುಪಾಲು ಸೂರ್ಯನ ಒಳಭಾಗವನ್ನು ಬಿಸಿ ಮಾಡಲು ಮರಳಿ ಬಳಕೆಯಾಗುತ್ತದೆ (**ಚಿತ್ರ 6** ನೋಡಿ).

ಸೂರ್ಯ ನಮಗೆ ಎಷ್ಟು ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಆಧರಿಸಿ, ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಯಾವ ದರದಲ್ಲಿ ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುತ್ತಿರಬಹುದು ಎಂದು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಲೆಕ್ಕಹಾಕಿದ್ದಾರೆ. ಈ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದ ಫಲಿತಾಂಶವು ನಮ್ಮನ್ನು ನಿಬ್ಬೆರಗಾಗಿಸುವಷ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗಿದೆ (**ಬಾಕ್ಸ್ 2** ನೋಡಿ). ಇಷ್ಟೊಂದು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾದರೂ ಸೂರ್ಯ ಯಾಕೆ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತಿಲ್ಲ ಎಂದು ಯಾರಿಗಾದರೂ ಆಶ್ಚರ್ಯವಾಗಬಹುದು. ನಮಗೆ ತಿಳಿದುಬಂದಂತೆ, ಎಲ್ಲ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ತಮ್ಮೊಳಗೆ ಈ ವಿಸ್ಫೋಟನೆ ಆಗದಂತೆ ತಡೆಯುವ ಒಂದು ಬಗೆಯ ಸುರಕ್ಷಾ-ಕವಾಟವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಹಾಗಾದರೆ, ಈ ಸುರಕ್ಷಾ-ಕವಾಟ ಹೇಗೆ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತದೆ?

ಅಧಿಕವಾಗಿ ಜಲಜನಕವನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ಅನಿಲ ಮೋಡದ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯ ಬಲವು ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಂತೆ ಸೆಳೆಯಲು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿದಾಗ ಅದು ನಕ್ಷತ್ರವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆ.

ಅನಿಲದ ಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯು ಆ ಪದಾರ್ಥವನ್ನು ಸತತವಾಗಿ ಸಣ್ಣ ಸಣ್ಣ ಗಾತ್ರದ್ದನ್ನಾಗಿ ಸಂಪೀಡನಗೊಳಿಸುತ್ತಾ ಹೋದಂತೆ ಈ ಅನಿಲ ಮೋಡ ಅಥವಾ ನೆಬ್ಯುಲಾ ಕ್ರಮೇಣ ಅನಿಲದ ಚೆಂಡಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದು ಹೀಗೆ ಕುಗ್ಗುತ್ತಾ(shrink) ಹೋದಂತೆ, ಈ ನೆಬ್ಯುಲಾದಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲದ ಸಾಂದ್ರತೆಯೂ ಅಧಿಕವಾಗುತ್ತಾ ಹೋಗಿ, ಕ್ರಮೇಣ ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಉಂಟು ಮಾಡುವಷ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗುತ್ತದೆ. (**ಚಿತ್ರ 7** ನೋಡಿ).

ಆದಾಗ್ಯೂ, ಒಮ್ಮೆ ಸಮ್ಮಿಳನ ಪ್ರಾರಂಭವಾದ ಮೇಲೆ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಗೆ ವಿರುದ್ಧವಾದ ಒಂದು ಒತ್ತಡವು ಪ್ರಾರಂಭವಾಗುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕದ ಸಮ್ಮಿಳನದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನಗೊಂಡ ಫೋಟಾನುಗಳು ತಾವು ತೇಜೋಮಂಡಲ (photosphere) ದತ್ತ ಮುನ್ನುಗ್ಗುವಾಗ ಒಂದರನಂತರ ಒಂದರಂತೆ ಇರುವ ಅನಿಲದ ಪದರಗಳ ಮೇಲೆ ಹೊರಮುಖವಾಗಿ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಬೀರುತ್ತವೆ. ಈ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ವಿಕಿರಣ ಒತ್ತಡ(radiation pressure) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಈ ಒತ್ತಡವು ಗರಿಷ್ಠವಾಗಿದ್ದು, ಸೂರ್ಯನ ಹೊರಪದರಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮೇಣ



ಚಿತ್ರ 6. ಸೂರ್ಯನ ಅಡ್ಡ ಕೊಯ್ತು. ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈ ಅನ್ನು ತೇಜೋಮಂಡಲ ಎನ್ನುವರು. ಇದರ ಕೆಳಗೆ ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳನ್ನು ಸುತ್ತುವರೆದು, ನಮ್ಮ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಅದನ್ನು ಮರೆಮಾಡುವ ಅನಿಲದ ಹಲವಾರು ಪದರಗಳಿವೆ. ಆದರೆ, ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನಕ್ಕೆ ಅನುವು ಮಾಡಿಕೊಡುವಷ್ಟು ಅಧಿಕ ಸಾಂದ್ರತೆ ಮತ್ತು ತಾಪಮಾನಗಳಿರುವುದು ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ. ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ನಿಧಾನವಾಗಿ ಹಲವು ಅನಿಲ ಪದರಗಳನ್ನು ದಾಟಿ ತೇಜೋಮಂಡಲವನ್ನು ತಲುಪುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈ ತಲುಪಿದಾಕ್ಷಣ, ಶಕ್ತಿಯು ಫೋಟಾನುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಗೆ ವಿಕಿರಣಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ಕೃಪೆ: © NASA/SOHO.

ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಆ ವಿಕಿರಣವು ಅನಿಲದ ಶಾಖವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದರಿಂದ, ಅನಿಲ ಒತ್ತಡ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ರೂಪದ ಒತ್ತಡ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಅನಿಲದ ಶಾಖ ಅಧಿಕವಾಗುತ್ತಾ ಹೋದಂತೆ, ಅದರ ಒತ್ತಡವೂ ಅಧಿಕವಾಗುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣ ಒತ್ತಡದಂತೆಯೇ ಈ ಅನಿಲ ಒತ್ತಡವೂ ಅನಿಲ ಪದರಗಳನ್ನು ಹೊರಮುಖವಾಗಿ ಒತ್ತುತ್ತದೆ. ನಕ್ಷತ್ರದ ಒಳಗಿನ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಅನಿಲ ಪದರದಲ್ಲಿಯೂ, ಹೊರಮುಖವಾಗಿ ಒತ್ತುತ್ತಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಒತ್ತಡ ಮತ್ತು ಅನಿಲ ಒತ್ತಡ–ಇವರೆಡರ ಒಟ್ಟು ಒತ್ತಡವನ್ನು ಒಳಮುಖವಾಗಿ ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗಿರುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯ ಒತ್ತಡವು ಸಮತೋಲನಗೊಳಸುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮತೋಲನವು ನಕ್ಷತ್ರವು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಮತ್ತಷ್ಟು ಕುಗ್ಗಲು ಅಥವಾ ವಿಕಿರಣ ಮತ್ತು ಅನಿಲ ಒತ್ತಡಗಳು ಒಳಗಿನಿಂದ ಹೊರಕ್ಕೆ ಹಾಕುವ ನೂಕುಬಲದಿಂದ ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಹಿಗ್ಗಲು ಅವಕಾಶ ಕೊಡದೆ ಅದನ್ನು ಸಮಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರಿಸುತ್ತದೆ.

ಬಾಕ್ಸ್ 2. ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಹೊರಹೊಮ್ಮುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಮಾಣ

ಸೂರ್ಯನ ಒಳಗೆ ನಡೆಯುವ ಜಲಜನಕ ಸಮ್ಮಿಳನದಿಂದ ಹೊರಬರುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಮಾಣವನ್ನು ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡುವುದು ಸುಲಭ.

ನಾಲ್ಕು ಜಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳು (ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು) ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಆಗುವ ಕ್ರಿಯೆಯೇ ನಮ್ಮ ಆರಂಭ ಬಿಂದು. ಈಗ, ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವಂತೆ;

ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ $= 1.67 \times 10^{-27}$ kg

ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ $= 6.64 \times 10^{-27}$ kg

ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಳ ನಡುವಣ ವ್ಯತ್ಯಾಸ, ಡೆಲ್ಟಾ m $= (4 \times 1.67 - 6.64) \times 10^{-27}$ kg

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ-ಶಕ್ತಿ ಸಮಾನತಾ ನಿಯಮದ (mass-energy equivalence principle,) ಅನುಸಾರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯಲ್ಲಿರುವ ಈ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಯಾಗುವುದು, ಅಥವಾ $E = \Delta mc^2$

ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಬಿಡುಗಡೆಗೊಂಡ ಶಕ್ತಿಯ ಮೌಲ್ಯ ಅಂದಾಜು 4×10^{-12} J ಆಗುತ್ತದೆ. (ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವಾದ $c = 3 \times 10^8$ m/s ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಬಳಸಲಾಗಿದೆ).

ಇದು ನಾಲ್ಕು ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣ. ಸೂರ್ಯನ ಆಂತರ್ಯದಲ್ಲಿ, ಒಮ್ಮೆಗೇ ಇಂಥ ಅನೇಕಾನೇಕ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳು ಒಟ್ಟಿಗೆ ನಡೆಯುತ್ತಲಿರುತ್ತವೆ, ಹಾಗೂ ಅವು ಒಟ್ಟಿಗೆ ಸೇರಿ ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಹೊರಹೊಮ್ಮುವ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿ ಆಗುತ್ತವೆ. ನಾವು ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲೂ ಜರುಗುತ್ತಿರುವ ಜಲಜನಕ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸಹ ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಬಲ್ಲೆವು:

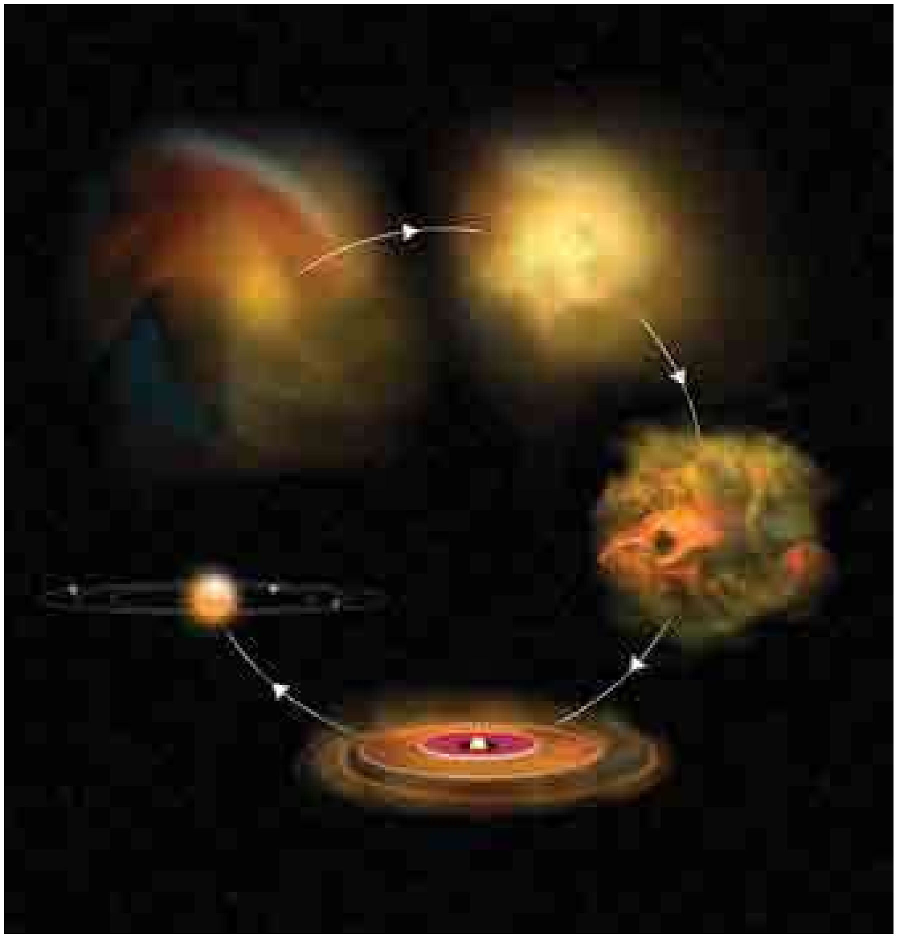
ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ನಡೆಯುವ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ = ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿ / ಒಂದು ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಸಿಗುವ ಶಕ್ತಿ $= (3.8 \times 10^{26}$ J$)/(4 \times 10^{-12}$ J$)$. ಅಂದರೆ ಅಂದಾಜು ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ 10^{38} ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಬೇರೆ ಮಾತಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೂ, ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 10^{38} ಜಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತಿರುತ್ತವೆ!

ಈ ದ್ರವಸ್ಥಾಯಿ ಸಮತೋಲನ ಸ್ಥಿತಿ (hydrostatic equilibrium) (ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಹೇಳುವಂತೆ) ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸಹಜ ಸುರಕ್ಷಾ ಕವಾಟದಂತೆ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತದೆ- (**ಚಿತ್ರ 8** ನೋಡಿ). ಈ ಸಮಸ್ಥಿತಿಗೆ ಯಾವುದೇ ಅಡ್ಡಿ ಉಂಟಾದರೂ ಕೆಲವೊಮ್ಮೆ ನಕ್ಷತ್ರಕ್ಕೆ ಹಾನಿಕಾರಕವಾಗಬಲ್ಲ ಹಠಾತ್ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಆಗಬಲ್ಲವು.

ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಪ್ರಬುದ್ಧವಾದಂತೆ

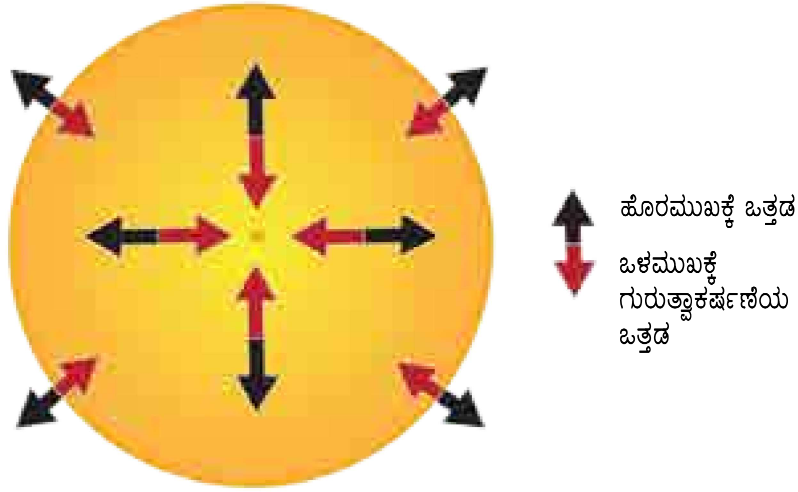
ನಕ್ಷತ್ರದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯು ಅದರ ಜೀವಿತಾವಧಿಯನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನು ನಮಗೆ ಪ್ರಿಯವಾದ ನಕ್ಷತ್ರವಿರಬಹುದು. ಆದರೆ, ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದ ವೈಶಾಲ್ಯದಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯ ಒಂದು ಸಾಧಾರಣ ನಕ್ಷತ್ರ. ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದಲ್ಲಿ ಅಷ್ಟೇಕೆ ನಮ್ಮದೇ ನೀಹಾರಿಕೆಯಲ್ಲೂ ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತಲೂ ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಮತ್ತು ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾಗಿರುವ ಹಲವಾರು ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿವೆ (**ಚಿತ್ರ 9** ನೋಡಿ).

ಇಂತಹ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವಿತಕಾಲ ಕಿರಿದು. ಏಕೆಂದರೆ ಅವುಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಹೆಚ್ಚಾದಂತೆ ನಕ್ಷತ್ರವನ್ನು ಹಿಂಡುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣದ ಕಾರಣ ಉಂಟಾಗುವ ಅವುಗಳ ಒತ್ತಡವೂ ಹೆಚ್ಚುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಈ ಒಳಮುಖ ಹಿಂಡುವಿಕೆಯನ್ನು ತಡೆಯಲು ಮತ್ತು ದ್ರವಸ್ಥಾಯೀ ಸಮತೋಲನ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು(hydrostatic equilibrium) ಉಳಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು- ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳೆಂದು ಗುರುತಿಸಲಾಗಿರುವ – ಈ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ತಮ್ಮ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಜಲಜನಕವನ್ನು



ಚಿತ್ರ.7. ನಕ್ಷತ್ರದ ಹುಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪರ್ಯಾವಸಾನವಾಗುವ ಹಂತಗಳ ಸರಣಿ. ಶೀತಲ, ಸಾಂದ್ರ ಅನಿಲ ಮೋಡದೊಳಗೆ ಛಿದ್ರಗೊಂಡ ಪ್ರದೇಶವೊಂದು ತನ್ನದೇ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಕುಸಿಯಲಾರಂಭಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವು ತನ್ನ ಸುತ್ತಲೂ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಗ್ರಹಗಳೊಂದಿಗೆ, ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವ ತನಕ ಈ ಕುಸಿತ ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತದೆ. ಕುಸಿಯುತ್ತಿರುವ ಛಿದ್ರದ ಕೇಂದ್ರದ ತಾಪಮಾನ 10 ಮಿಲಿಯನ್ ಕೆಲ್ವಿನ್ ಮತ್ತು ಸಾಂದ್ರತೆ ಸುಮಾರು 160 g/cc (ಸೀಸದ ಸಾಂದ್ರತೆಯ ಸುಮಾರು 10 ಪಟ್ಟು) ತಲುಪುತ್ತಲೇ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವು ಹುಟ್ಟುತ್ತದೆ.

ಕೃಪೆ: © National Radio Astronomy Observatory/National Science Foundation.



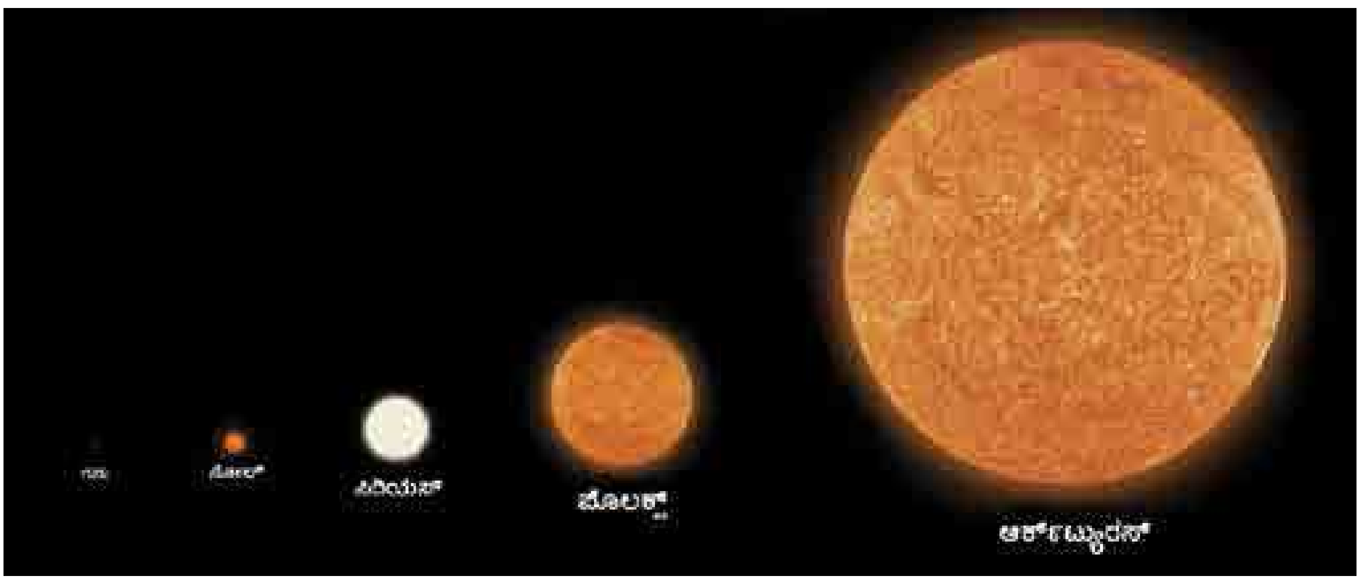
ಚಿತ್ರ 8. ದ್ರವಸ್ಥಾಯಿಸ್ಥಿತಿ (hydrostatic) ಸಮತೋಲನವು ನಕ್ಷತ್ರದೊಳಗೆ ಸ್ಪರ್ಧಿಸುತ್ತಿರುವ ಎರಡು ಒತ್ತಡಗಳನ್ನು ಸರಿದೂಗಿಸುತ್ತದೆ. ನಕ್ಷತ್ರದ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪದರವೂ, ತಾರೆಯ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಕುಗ್ಗಿಸಿ ಚಿಕ್ಕದಾಗಿಸಲು ಕೆಳಗಿರುವ ಪದರದ ಮೇಲೆ ತನ್ನ ಭಾರವನ್ನು ಹಾಕುತ್ತದೆ. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಬರುವ ಈ ಒತ್ತಡ ತಾರೆಯ ಮೇಲ್ಮೈ ಮೇಲೆ ಕನಿಷ್ಠವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಒಳಗಿನ ಒಂದರ ಕೆಳಗೊಂದು ಬರುವ ಪದರಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ತನ್ನ ಮೇಲಿರುವ ಅನಿಲದ ಎಲ್ಲ ಪದರಗಳಿಂದಲೂ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಅನುಭವಿಸುವುದರಿಂದ, ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣದ ಒತ್ತಡ ಗರಿಷ್ಠವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ತಾರೆಯೊಳಗಿನ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪದರದಲ್ಲಿ ಒಳಮುಖವಾಗಿ ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗಿರುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಹೊರಮುಖವಾಗಿ ಕಾರ್ಯೋನ್ಮುಖವಾಗಿರುವ ಅದರ ಅನಿಲ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಗಳ ಒಟ್ಟು ಒತ್ತಡಗಳು ಸಮತೋಲನಗೊಳಿಸುತ್ತವೆ.

ಕೃಪೆ: Adapted from Pearson Prentice Hall Inc.

ಗಮನಾರ್ಹ ತ್ವರಿತ ವೇಗದಲ್ಲಿ ದಹಿಸುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ನೋಡಿ. ಒಂದು ಅಂದಾಜಿನ ಪ್ರಕಾರ, ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಮೂರರಷ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನಕ್ಷತ್ರವೊಂದು ಅರ್ಧ ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ತನ್ನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ಜಲಜನಕವನ್ನು ದಹಿಸಿ ಮುಗಿಸಿಬಿಡುತ್ತದೆ. ಅದೇ, ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ 15 ಪಟ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನಕ್ಷತ್ರವೊಂದು 15 ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಕ್ಕಿಂತ ಕಡಿಮೆ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕವನ್ನು ದಹಿಸುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಕೇವಲ 10% ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನಕ್ಷತ್ರವು ತನ್ನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಜಲಜನಕವನ್ನು ಒಂದು ಸಾವಿರ ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ದೀರ್ಘಕಾಲದವರೆಗೂ ದಹಿಸುತ್ತಿರಬಲ್ಲದು!

(ಎ) ಕಡಿಮೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ದೀರ್ಘಾಯಸ್ಸು

ಸೂರ್ಯ ಮತ್ತು ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಎಂಟು ಪಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕಡಿಮೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳೆಂದು ವರ್ಗೀಕರಿಸುತ್ತಾರೆ. ಅಂತಹ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ



ಚಿತ್ರ 9. ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿ. ನಮ್ಮ ಸೂರ್ಯನು ಆಕಾಶಗಂಗೆಯಲ್ಲಿರುವ ಇತರ ಹಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದಾಗ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ, ಗಾತ್ರ, ತಾಪಮಾನ, ಮತ್ತು ಕಾಂತಿಮಾನಗಳನ್ನು ಕಡಿಮೆ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೊಂದಿರುವ ಸಾಧಾರಣ ನಕ್ಷತ್ರ. ತಾರೆಗಳು ಎಷ್ಟೆಷ್ಟು ದೊಡ್ಡದಾಗಿರಬಲ್ಲವು ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ಈ ಚಿತ್ರವು ಉದಾಹರಣೆಗಳನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಸಿರಿಯಸ್ (ಲುಬ್ಧಕ, 'ಮಹಾಶ್ವಾನ' ನಕ್ಷತ್ರಪುಂಜದ ಒಂದು ಉಜ್ವಲ ತಾರೆ) ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಎರಡರಷ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಅಲ್ಲದೆ, ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಅದಕ್ಕಿಂತ ಎರಡು ಪಟ್ಟು ದೊಡ್ಡದು ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪಾದನೆಯು (ಕಾಂತಿಮಾನ) ಸೂರ್ಯನ ಕಾಂತಿಮಾನಕ್ಕಿಂತ 25 ಪಟ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗಿದೆ. ಪೊಲಕ್ಸ್ ನಕ್ಷತ್ರವು ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ ದುಪ್ಪಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳದ್ದು. ಆದರೆ, ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ 8 ಪಟ್ಟು ದೊಡ್ಡದು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಸಿರಿಯಸ್ ತಾರೆಗಿಂತ ಅತ್ಯಧಿಕ ಕಾಂತಿಮಾನವುಳ್ಳದ್ದು. ಆರ್ಕ್ಟ್ಯುರಸ್ ನಕ್ಷತ್ರ ಸೂರ್ಯನಷ್ಟೇ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳದ್ದು. ಆದರೆ, ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ 25 ಪಟ್ಟು ದೊಡ್ಡದು. ಜೊತೆಗೆ, ಇದು ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ ಎಷ್ಟೋ ಹಳೆಯದಾದ್ದರಿಂದ ಅದು ತನ್ನ ಜೀವಿತದ ಇನ್ನೂ ಮುಂದುವರಿದ ಹಂತದಲ್ಲಿದೆ. ಆರ್ಕ್ಟ್ಯುರಸ್ ಖಗೋಳಜ್ಞರು ಹೇಳುವ ಕೆಂಪುದೈತ್ಯವಾಗಿ ವಿಕಸನ ಹೊಂದಿದೆ. ಅಂದರೆ, ಬೃಹತ್‌ಗಾತ್ರಕ್ಕೆ ಊದಿಕೊಂಡಿರುವ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವಾಗಿದೆ. ಇದರ ಗಾತ್ರದಿಂದಾಗಿ, ಆರ್ಕ್ಟ್ಯುರಸ್ ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ ಸುಮಾರು 150 ಪಟ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾಗಿದೆ.

ಕೃಪೆ: Star Sizes, Cooler-online.com. URL: http://www.pinsdaddy.com/star-sizes_CWubpRaKjLI8jZ9RU KRYKAIm7oW9NdakNAkwufGVgCI/UAtyWSB1krTCq0i3t25eamGjJYaLWU9V7v8wokEFznYLVfchQhlopCq RQRAm93V3I5aZupQEHnwqzINTSP*rxQ/. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY.

ಜೀವನದಲ್ಲಿನ ಮುಖ್ಯ ಘಟನೆಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಒಂದೇ ತೆರನಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಯಾವುದೇ ನಕ್ಷತ್ರದ ಜೀವಿತಕಾಲದಲ್ಲಿ, ಜಲಜನಕವು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಆಗುವ ಹಂತವು ಅತ್ಯಂತ ದೀರ್ಘವಾದ ಹಂತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನಂತಹ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಈ ಹಂತವು 10 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ದೀರ್ಘವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ಜಲಜನಕವು ಮುಗಿದ ನಂತರ ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನ (nuclear fusion) ಸಂಪೂರ್ಣ ನಿಂತು ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಈಗ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಒತ್ತಡವನ್ನು ತಡೆಯಲು ವಿಕಿರಣದ ಒತ್ತಡವಾಗಲೀ, ಅನಿಲ ಒತ್ತಡವಾಗಲೀ ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ, ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳು ಕುಗ್ಗುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದಾಗುವ ತಿರುಳಿನ ಸಂಪೀಡನ ಅದರ ಸಾಂದ್ರತೆ ಮತ್ತು ತಾಪಮಾನಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತದೆ. (ಮುಚ್ಚಿದ ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿರುವ ಯಾವುದೇ ದ್ರವವನ್ನು ಸಂಪೀಡನೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದಾಗ ಆಗುವಂತೆ). ಅಂತಿಮವಾಗಿ ತಿರುಳಿನ ತಾಪಮಾನ ಮತ್ತು ಸಾಂದ್ರತೆ ಹೀಲಿಯಂ ಸಮ್ಮಿಳನವನ್ನು (fusion)ಶುರುಮಾಡುವಷ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗುವವರೆಗೂ ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಈ ಹಂತದಲ್ಲಿ, ನಕ್ಷತ್ರದೊಳಗೆ ಎರಡು ವಿಧದ ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಂಭವಿಸತೊಡಗುತ್ತವೆ.

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅದರ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಸಂಭವಿಸುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ಅದು ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳು ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮಜನಕ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುವ ಕ್ರಿಯೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. (**ಚಿತ್ರ** 10 ನೋಡಿ) ಮತ್ತೊಂದು, ತಿರುಳನ್ನು ಸುತ್ತುವರೆದಿರುವ ಒಂದು ಕೋಶದಲ್ಲಿ ಜರುಗುವ, ಜಲಜನಕವು ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗುವ ಕ್ರಿಯೆ.

ಈ ಎರಡೂ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಗೊಳ್ಳುವ ಶಕ್ತಿಯು ಒಳಮುಖವಾಗಿ ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಒತ್ತಡವನ್ನು ವಿರೋಧಿಸಿ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಪುನರ್‌ಸ್ಥಾಪಿಸುತ್ತದೆ.

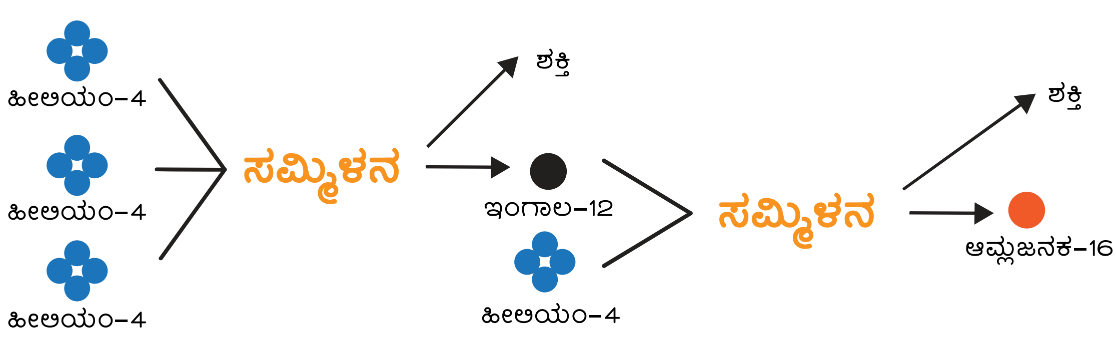
ಒಳಗಿನ ಈ ಬದಲಾವಣೆಗಳ ಕಾರಣದಿಂದ, ನಕ್ಷತ್ರವು ತನ್ನ ಹೊರಗಣ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಅದು ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಊದಿ ಮೊದಲಿಗಿಂತ ನೂರರಿಂದ ಸಾವಿರ ಪಟ್ಟು ದೊಡ್ಡದಾಗುತ್ತದೆ. ಇಂತಹ ಊದಿಕೊಂಡ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ಖಗೋಳಜ್ಞರು ಕೆಂಪುದೈತ್ಯಗಳು (Red Giants) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. (**ಚಿತ್ರ 11** ನೋಡಿ). ಅಂದಾಜುಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ನಮ್ಮ ಸೂರ್ಯನು ಸುಮಾರು 5 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಇಂತಹ ರೂಪಾಂತರ ಹೊಂದುತ್ತಾನೆ.

ಹೀಲಿಯಂನಿಂದ ಇಂಗಾಲಕ್ಕೆ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕಕ್ಕೆ ಆಗುವ ಸಮ್ಮಿಳನವು ಜಲಜನಕದಿಂದ ಹೀಲಿಯಂಗೆ ಆಗುವ ಸಮ್ಮಿಳನದಂತೆ ದೀರ್ಘಕಾಲ ಉಳಿಯುವುದಿಲ್ಲ. ಸೂರ್ಯನಂತಹ ನಕ್ಷತ್ರ ತನ್ನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಹೀಲಿಯಂ ಅನ್ನು ಒಂದು ಶತಕೋಟಿ ಅಥವಾ ಇನ್ನೂ ಕಡಿಮೆ ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಮಾತ್ರ ದಹಿಸಬಲ್ಲದಷ್ಟೆ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಸೂರ್ಯನಂತಹ ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕಗಳ ಸೃಷ್ಟಿ ಅವುಗಳ ಜೀವನದ ಕೊನೆಯ ಹಂತವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತವೆ. (**ಬಾಕ್ಸ್** 3 ನೋಡಿ). ಅವುಗಳ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆ ನಿಂತು ಹೋಗುತ್ತಿದ್ದಂತೆ, ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ನಿಧಾನವಾದ ಮತ್ತು ನಯನಮನೋಹರವಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾವಿಗೆ ಸಿದ್ಧವಾಗುತ್ತವೆ. ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರ ಅಂತಿಮ ಹಂತಗಳನ್ನು ತಲುಪುತ್ತಿದ್ದಂತೆ, ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ, ನಕ್ಷತ್ರವು ತ್ವರಿತವಾಗಿ ಮಿಡಿಯುತ್ತದೆ (ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ಪ್ರಕಾಶಗಳಲ್ಲಿ ದೊಡ್ಡದಾಗುವುದು –ಚಿಕ್ಕದಾಗುವುದು ಆಗುತ್ತದೆ.). ಈ ಮಿಡಿತ ಅಥವಾ ಸ್ಪಂದನಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ನಕ್ಷತ್ರವು ಮಂದಗತಿಯಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಅನಿಲ ಪದರಗಳನ್ನು ಹೊರಬಿಡುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ, ಊದಿ ಹೊರ ಬಿಟ್ಟ ಹೊರಪದರಗಳು ಸುತ್ತಲಿನ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಹಿಂದೆ ಸರಿದು, ನಕ್ಷತ್ರದ ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ಒಳ ತಿರುಳನ್ನು ಕ್ರಮೇಣ ತೆರೆದು ತೋರುತ್ತವೆ. ಗ್ರಹ ನೆಬ್ಯುಲೆ ಎಂದು ಖಗೋಳಜ್ಞರು ಕರೆಯುವ ಈ ಮರಣೋನ್ಮುಖ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ನಯನ ಮನೋಹರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. (**ಚಿತ್ರ** 12 ನೋಡಿ) ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾಗಿ ಹೊಳೆಯುತ್ತಿರುವ ತೆರೆದಿಟ್ಟ ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳನ್ನು ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜ (White Dwarf) ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ.

ಆಕಾಶಗಂಗೆಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 10000 ಗ್ರಹ ನೆಬ್ಯುಲಾಗಳಿವೆ. ನಮ್ಮ ನೀಹಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ ಹೀಲಿಯಂ, ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ, ಹಿಂದಿನ ಪೀಳಿಗೆಗಳ ಗ್ರಹ ನೆಬ್ಯುಲಾಗಳಿಂದ ಮತ್ತು ಅವುಗಳಿಗಿಂತಲೂ ಹಿಂದೆ ಇದ್ದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಗಾಳಿಯಿಂದ ಬಂದವು ಎಂಬ ಅಭಿಮತವಿದೆ.

ಹೀಗೆ, ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರದ ಸಾವು ಸುತ್ತಲಿನ ತಾರೆಗಳ ಮಾಧ್ಯಮಕ್ಕೆ ಈ ಹೆಚ್ಚು ಭಾರದ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಒದಗಿಸುತ್ತದೆ (**ಚಿತ್ರ** 13 ನೋಡಿ). ಆದಾಗ್ಯೂ, ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಸಾವಿನಿಂದ ಸರಬರಾಜಾಗುವ ಹೆಚ್ಚು ಭಾರದ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಪ್ರಮಾಣ ಅತ್ಯಲ್ಪ. ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ರಾಸಾಯನಿಕ ಮೂಲ ಧಾತುಗಳು ಉದ್ಭವಿಸಲು ಭಾರಿ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಸಾವೇ ಕಾರಣ.



ಚಿತ್ರ 10. ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಲಾಮ್ಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಾಗಿ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವವು. ಈ ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಕೆಲವು ಭಾಗ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಬಿಸಿ ಮಾಡಲು ವ್ಯಯವಾಗಿ, ಉಳಿದದ್ದು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶಕ್ಕೆ ಹೋಗಿಬಿಡುತ್ತದೆ.

ಬಾಕ್ಸ್ 3. ಸೂರ್ಯನ ಜೀವಿತಾವಧಿ

ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದ ಇತರ ಎಲ್ಲ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಂತೆಯೇ, ನಮ್ಮ ಸೂರ್ಯನಿಗೂ ಅಂತ್ಯವಿದೆ. ಸೂರ್ಯ ದಹಿಸಿ ಕಣ್ಮರೆಯಾಗಲು ಇನ್ನೆಷ್ಟು ಕಾಲವಿದೆ?

ನಮ್ಮ ಅದೃಷ್ಟವೋ ಎಂಬಂತೆ, ಈ ಕಾಲದ ಅಂದಾಜನ್ನು ಬಹಳ ಸರಳವಾಗಿ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಕ್ಕೆ ನಮಗೆ ಮೂರು ಅಂಶಗಳು ತಿಳಿದಿರಬೇಕು:

1. ಸೂರ್ಯನು ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವೆಷ್ಟು?
2. ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಜಲಜನಕದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಲಭ್ಯವಿದೆ?
3. ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುವಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕ ಸಮ್ಮಿಳನ ಎಷ್ಟರ ಮಟ್ಟಿಗೆ ದಕ್ಷವಾಗಿದೆ?

ಸೂರ್ಯನ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ 2×10^{30} kg. ಈ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಸುಮಾರು 10% ನಷ್ಟು, ಅಂದರೆ 2×10^{29} ನಷ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯುವ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿದೆ.

ಹೈಡ್ರೋಜನ್‌ನಿಂದ ಹೀಲಿಯಂಗೆ ಆಗುವ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆ 0.7% ದಕ್ಷತೆಯಿಂದ ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಕೇವಲ 0.7% ನಷ್ಟು ಮಾತ್ರ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ಸಂಗತಿಗಳನ್ನು ತಿಳಿದು, ಸೂರ್ಯ ತನ್ನ ಜೀವಮಾನದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಕರಣವಾಗಿ ಹೊರಸೂಸುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆಯೆಂದು ನಾವು ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಬಹುದು. ಇದು $2 \times 10^{29} \times c^2$ ಮೌಲ್ಯದ 0.7% ನಷ್ಟು ಜೌಲ್‌ಗಳಾಗುವುದು. (ಐನ್‌ಸ್ಟೈನನ $E = mc^2$ ಸಮಾನತೆಯ ನಿಯಮವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ್ದೇವೆ).

ಇದರಿಂದ, ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಹೊರಹೊಮ್ಮುತ್ತಿರುವ ಶಕ್ತಿಯ ಮೊತ್ತ 3.8×10^{26} J. (ಇದಕ್ಕೆ ಕಾಂತಿಮಾನ (luminosity) ಎಂದೂ ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ).

ಸೂರ್ಯ ಈ ಕಾಂತಿಮಾನದೊಡನೆ $t = 1.3 \times 10^{44} / 3.8 \times 10^{26}$ ಅಂದರೆ 10 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ, ಹೊಳೆಯುತ್ತಿರಬಲ್ಲನು. ಸದ್ಯದಲ್ಲಿ, ಸೂರ್ಯನ ವಯಸ್ಸು 5 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷ. ಇದರರ್ಥ ಸೂರ್ಯ ತನ್ನ ಅರ್ಧದಷ್ಟು ಜೀವಿತಕಾಲವನ್ನು ಕಳೆದಿದ್ದಾನೆ ಎಂದು. ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಇಂಧನವನ್ನೆಲ್ಲಾ ಬಳಸಿ ಮುಗಿಸುವುದಕ್ಕೆ ಇನ್ನೂ 5 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿ ಇದೆ.

(b) ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಅಲ್ಪಕಾಲೀನ ನಯನ ಮನೋಹರ ಜೀವಿತಕಾಲ

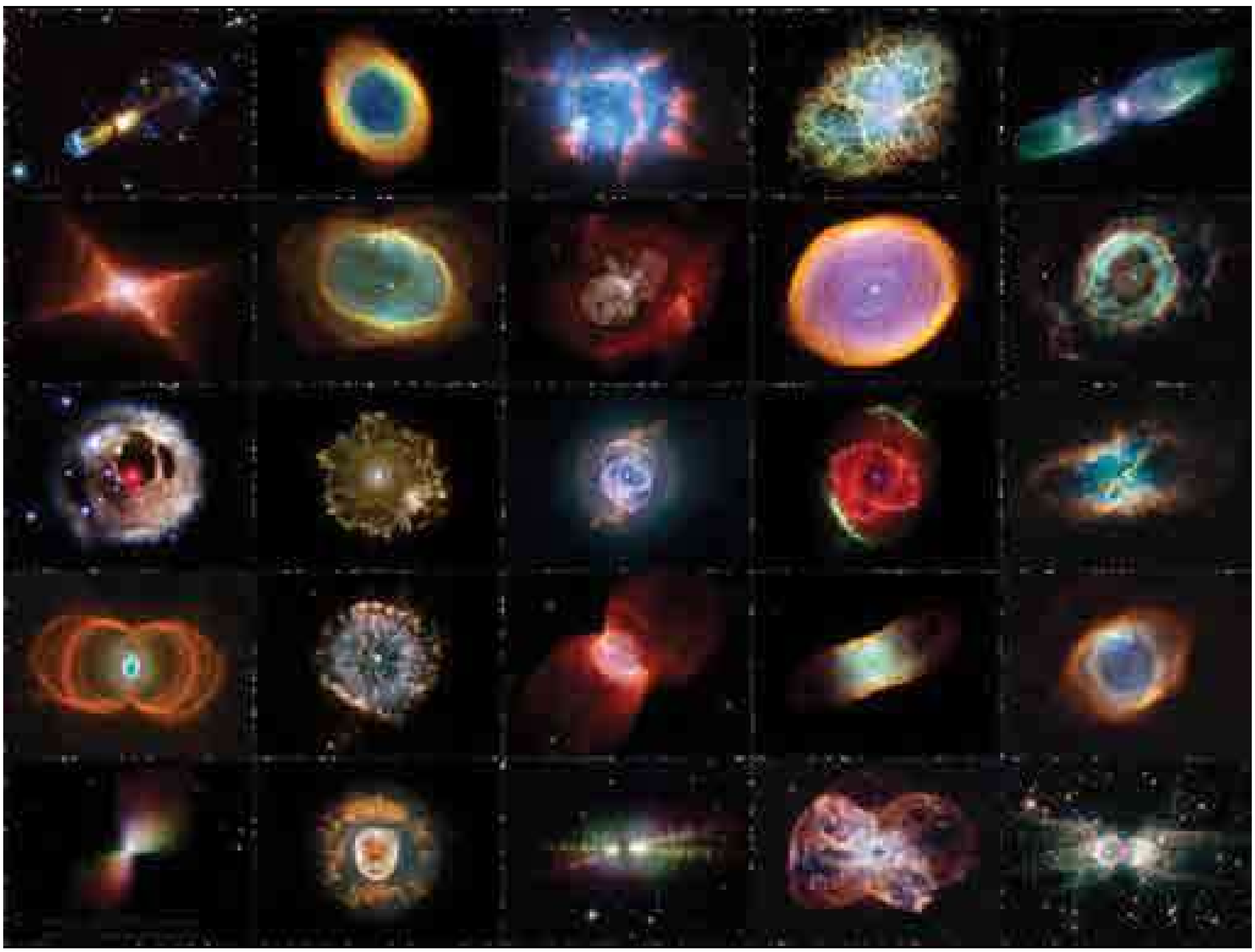
ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೋಲಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಅಲ್ಪಾಯುಗಳೇ ಆದರೂ ಅಂತರತಾರಾ ಮಾಧ್ಯಮವನ್ನು ಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಂದ ಸಮೃದ್ಧಗೊಳಿಸುವಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರ ವಹಿಸುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ತಾರೆಗಳಂತೆಯೇ, ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ತಾರೆಗಳ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕವು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುವುದರಿಂದಲೇ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಸಮ್ಮಿಳನ ಪ್ರಾರಂಭವಾಗುತ್ತದೆ. ನಂತರ, ಈ ಎರಡೂ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಹೀಲಿಯಂ $= 3 \times 10^{17}$ s ಅನ್ನು ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗಿದ್ದರೂ ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ತಾರೆಗಳಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಸಮತೋಲನಗೊಳಿಸಲು ಈ ಎರಡೂ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಜರುಗುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ತಾರೆಗಳು ಸೂರ್ಯನಂತಹ ತಾರೆಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಬಹಳ ಬೇಗ ಕೆಂಪುದೈತ್ಯಗಳಿಗಿಂತ ದೊಡ್ಡ ಗಾತ್ರದ ಬೃಹತ್ ಕೆಂಪುದೈತ್ಯಗಳಾಗಿ (Red Super-Giants) ಊದಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲದೆ, ಅಧಿಕ

ಚಿತ್ರ 11. ಇಂದಿನ ಸೂರ್ಯನನ್ನು ಅದು ಭವಿಷ್ಯತ್ತಿನಲ್ಲಾಗುವ ಕೆಂಪುದೈತ್ಯ ರೂಪಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದಾಗ. ಆಯಸ್ಸು ಕಳೆಯುತ್ತಾ ಬಂದಂತೆ ಊದಿಕೊಂಡು ಸೌರವ್ಯೂಹದ ಒಳಭಾಗದವರೆಗೆ ಹರಡಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಬುಧ ಗ್ರಹವನ್ನು ನುಂಗಿಹಾಕಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಶುಕ್ರ ಗ್ರಹದ ಕಕ್ಷೆಗೆ ಹತ್ತಿರವಾದ ಗಾತ್ರಕ್ಕೆ ಬೆಳೆಯುತ್ತದೆ. ಭೂಮಿ ಬಹಳ ಬಿಸಿಗೊಂಡು ಸಾಗರಗಳು ಆವಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಬಿಸಿಯಾದ ಭೂಮಿಯ ವಾತಾವರಣ ಭೂಮಿಯ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯನ್ನು ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಂಡು ಬಾಹ್ಯಾಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಹೋಗಿಬಿಡುತ್ತದೆ. ಇದೆಲ್ಲವೂ ಧಗಧಗನೆ ಉರಿಯುವ ಕೆಂಪುದೈತ್ಯ ಸೂರ್ಯನಿಂದಾಗಿ ಘಟಿಸುತ್ತವೆ.

ಕೃಪೆ: Oona Räisänen (User:Mysid), User: Mrsanitazier., Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sun_red_giant.svg. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY.

ಚಿತ್ರ 12. ಉಂಗುರ ನೆಬ್ಯುಲಾ ಎಂಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಗ್ರಹ ನೆಬ್ಯುಲಾ ಹಿಂದೊಮ್ಮೆ ಸೂರ್ಯನಂತೆ ಹೊಳೆಯುತ್ತಿದ್ದು ಈಗ ಒಂದು ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರವಾಗಿ ಉಳಿದಿದೆ. ಕೆಂಪು, ಕಿತ್ತಳೆ, ಮತ್ತು ನೀಲಿ ಹೊಳಪು ಹಿಂದೊಮ್ಮೆ ನಕ್ಷತ್ರದ ಭಾಗವೇ ಆಗಿದ್ದ ಚದುರಿದ ಅನಿಲಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗಿದೆ. ತನ್ನ ಜೀವನಾಂತ್ಯದಲ್ಲಿ, ನಕ್ಷತ್ರವು ತನ್ನ ಬಾಹ್ಯ ಆವರಣವನ್ನು ನಿಧಾನವಾಗಿ ಹೊರಗೆ ಹಾಕಿ ತಿರುಳನ್ನು ತೆರೆದಿಡುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ತೆರೆದಿಟ್ಟ ತಿರುಳು ಈ ಹಿಂದೆ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆ ಜರುಗುತ್ತಿದ್ದ ಜಾಗವಾಗಿದ್ದ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜ (white dwarf) ವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳಿಂದ ಆಗಿದೆ. ಸಾಪೇಕ್ಷವಾಗಿ ಕಡಿಮೆ ಗಾತ್ರವುಳ್ಳದ್ದಾದರೂ ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜ ಪ್ರಖರವಾಗಿ ಹೊಳೆಯುತ್ತದೆ. ಏಕೆಂದರೆ, ಅದರ ತಾಪಮಾನ ಸುಮಾರು 100 ಮಿಲಿಯನ್ ಕೆಲ್ವಿನ್‌ಗಳಷ್ಟಿರುವುದು. ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜವು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಫೋಟಾನುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಗೊಳಿಸುವುದರಿಂದ ಅದು ನಿಧಾನವಾಗಿ ತಣ್ಣಗಾಗುವುದು.

ಕೃಪೆ: The Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA), Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M57_The_Ring_Nebula.JPG.
ಪರವಾನಗಿ: CC-BY.



ಚಿತ್ರ 13. ಆಕಾಶಗಂಗೆಯೊಳಗಿರುವ ಗ್ರಹ ನೆಬ್ಯುಲಾಗಳ ಚಿತ್ರ ಸಂಚಯ. ಈ ಚಿತ್ರಸಂಚಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಚಿತ್ರವೂ ಸೂರ್ಯನಂತಹ ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರದ ಸಾವಿನ ಚಿತ್ರವಾಗಿದೆ. ಉಂಗುರದಂತೆ ಇರುವ ಸಂರಚನೆ ಈ ಹಿಂದೆ ನಕ್ಷತ್ರದ ಭಾಗವಾಗಿದ್ದು, ಈಗ ನಿಧಾನವಾದ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಹೊರ ತಳ್ಳಲ್ಪಟ್ಟಿರುವ ಅನಿಲ. ಪ್ರತಿ ಗ್ರಹ ನೆಬ್ಯುಲಾದ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವುದು ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜ.

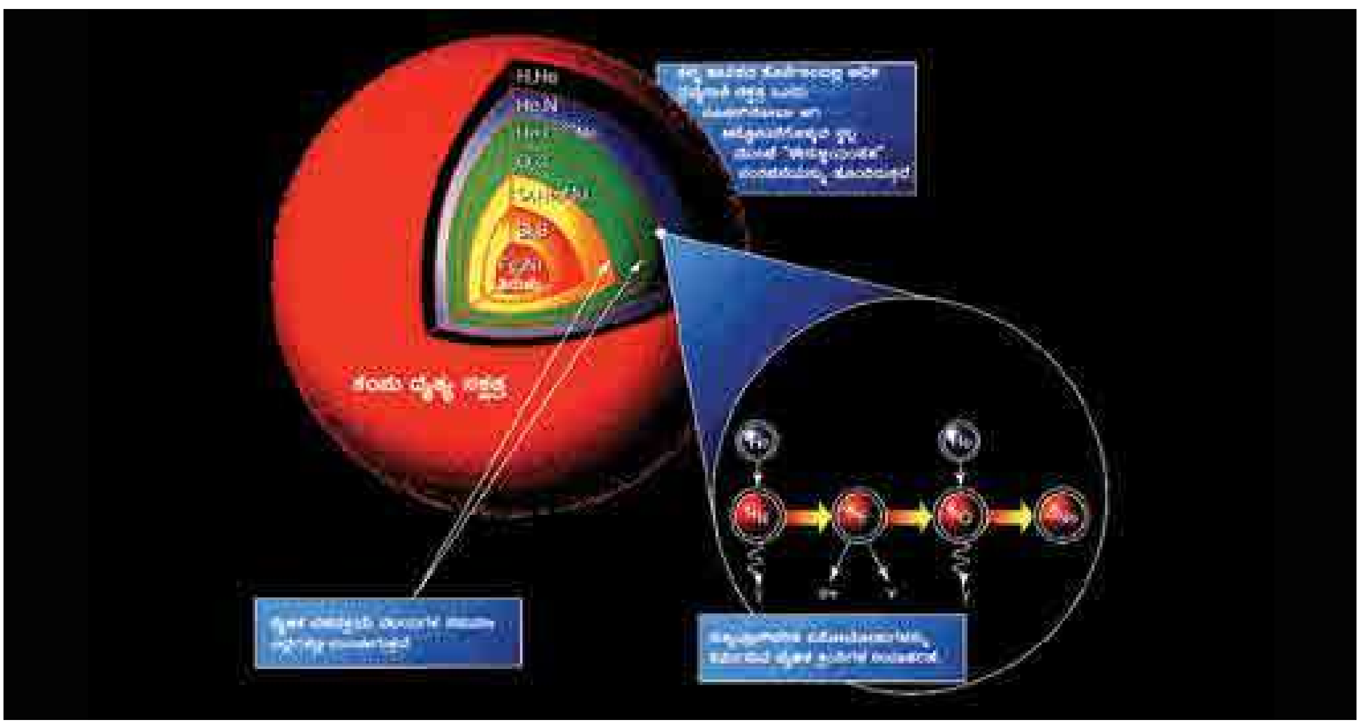
ಕೃಪೆ: © NASA/ESA Hubble Space Telescope.

ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ತಾರೆಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಗಾಲ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಯೇ ಸಮ್ಮಿಳನದ ಕೊನೆಯ ಘಟ್ಟವಲ್ಲ. ಬದಲಾಗಿ, ಈ ಹಂತದ ನಂತರವೂ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಜರುಗುತ್ತಲೇ ಹೋಗಿ ನಿಯಾನ್, ಮೆಗ್ನೀಷಿಯಂ, ಸಿಲಿಕಾನ್, ಗಂಧಕ ಇತ್ಯಾದಿ ಬಹು ಭಾರಿ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಸುತ್ತವೆ. ವಾಸ್ತವವಾಗಿ, ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನದ ಪ್ರತಿ ಹಂತದಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ಹೊಸ ಮೂಲಧಾತು ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ; ಇಂತಹ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಕೇವಲ ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ, ಅದನ್ನು ಸುತ್ತುವರೆದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಅನಿಲ ಪದರಗಳಲ್ಲಿಯೂ ನಡೆಯುತ್ತವೆ. ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವಿಕಾಸದಲ್ಲಿ ಅಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಎಂದಿಗೂ ನಡೆಯದೇ ಇರುವ ಹಂತ ಇದಾಗಿದೆ.

ಬೈಜಿಕ ಸಮ್ಮಿಳನದ ಈ ಸರಣಿ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯು ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಮೊದಲ ಕೆಲವು ಕಬ್ಬಿಣದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವ ತನಕ ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತದೆ. ಕಬ್ಬಿಣದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಬಹಳ ಸುಸ್ಥಿರವಾದ್ದರಿಂದ, ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡಲು ಅವು ಪರಸ್ಪರ ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಳ್ಳಲಾರವು. ಹೀಗಾಗಿ, ತಿರುಳು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಕಬ್ಬಿಣವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುವುದರೊಂದಿಗೆ, ನಕ್ಷತ್ರ ತನ್ನ ಜೀವಿತದ ಅಂತ್ಯವನ್ನು ತಲುಪುತ್ತದೆ(**ಚಿತ್ರ 14** ನೋಡಿ). ಆದರೆ, ಅವಸಾನ ಹೊಂದುವುದಕ್ಕೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಮುನ್ನ ಆ ನಕ್ಷತ್ರವು ನಮಗೊಂದು ಕಟ್ಟ ಕಡೆಯ ಚಿತ್ತಾಕರ್ಷಕ ದೃಶ್ಯವನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳು ವೇಗವಾಗಿ ಕುಸಿದು, ಪ್ರಚಂಡ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಯೊಂದಿಗೆ ನಕ್ಷತ್ರವನ್ನು ಚೂರು ಚೂರು ಮಾಡುವ ಶಾಕ್ ವೇವ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಗಳನ್ನು ಸೂಪರ್‌ನೋವಾಗಳು ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಲ್ಯಾಟಿನ್ ಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ 'ನೋವಾ' ಎಂದರೆ 'ಹೊಸದು' ಎಂದರ್ಥ.

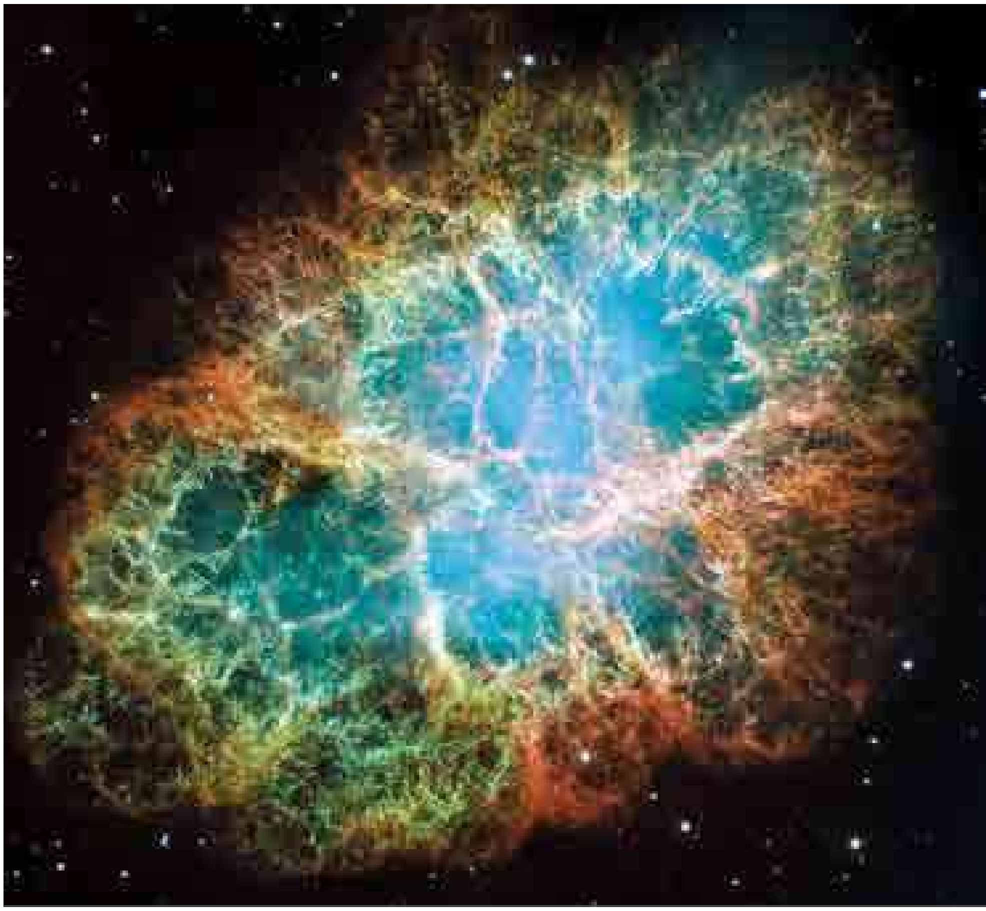
ನೀಹಾರಿಕೆಯ ಒಳಗೆ ಇಂತಹ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಯಾದಾಗ, ಸೂಪರ್ ನೋವಾದ ಬೆಳಕು ನೀಹಾರಿಕೆಯ ಉಳಿದೆಲ್ಲ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಬೆಳಕನ್ನು ಮೀರಿಸಿ ಬೆಳಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ರಾತ್ರಿ ಆಕಾಶವನ್ನು ನೋಡುತ್ತಿರುವ ನೋಡುಗನಿಗೆ ಸೂಪರ್ ನೋವಾಗಳು ಬಾನಿನಲ್ಲಿ ಹಠಾತ್ ಪ್ರಕಾಶಮಯ ಕಾಯಗಳಾಗಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಅಂತಹ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳು ಅದೆಷ್ಟು ಕಣ್ಣಿಗೆ ಮನೋಹರವಾಗಿ ಇರುತ್ತವೆ ಎಂದರೆ ನೀಹಾರಿಕೆಗಳನ್ನು ಗುರುತು ಹಚ್ಚುವುದೂ ಕಷ್ಟಕರವಾಗಿರುವಂಥ ದೂರದಲ್ಲೂ ಅವನ್ನು ನೋಡಬಹುದು.

ನಕ್ಷತ್ರದ ಅಧಿಕ ಸಾಂದ್ರತೆಯ ತಿರುಳು ಮಾತ್ರವೇ ಈ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಯ ನಂತರವೂ ಉಳಿಯುತ್ತದೆ (**ಚಿತ್ರ 15** ನೋಡಿ) ಈ ತಿರುಳು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ತಾರೆಯಾಗಿಯೋ(ಸಂಪೂರ್ಣ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದು) ಇಲ್ಲವೇ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಯಾಗಿಯೋ (ಯಾವುದೇ ವಸ್ತು ಅಂದರೆ ಬೆಳಕು ಕೂಡ, ಇದರಿಂದ ಆಚೆಗೆ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಂಡು ಹೋಗದಷ್ಟು ಸಾಂದ್ರತೆಯುಳ್ಳದ್ದು) ರೂಪಾಂತರಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಮತ್ತು ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳು – ಇವೆರಡೂ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಬಹಳ ಆಸಕ್ತಿಯಿಂದ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುವ ವಿಷಯಗಳಾಗಿವೆ. ಹಿಂದೊಮ್ಮೆ ನಕ್ಷತ್ರದ ಭಾಗವಾಗಿದ್ದ ಇನ್ನುಳಿದ ಪದಾರ್ಥಗಳು ಈ ವಿಸ್ಫೋಟನೆಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಬಾಹ್ಯಾಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಎಸೆಯಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಸೂಪರ್ ನೋವಾಗಳ ಪ್ರಕಾಶ ಬಹಳ ಕಾಲ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಹಲವು ವಾರಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ, ನಿಧಾನವಾಗಿ ಅದರ ಬೆಳಕು ಮಂಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹಲವು ಸೂಪರ್ ನೋವಾಗಳ ಬೆಳಕು ಮಸುಕಾಗುವಿಕೆಯ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ಅವು ಕಬ್ಬಿಣಕ್ಕಿಂತ ಭಾರವಾದ ಹಲವು ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಸಂಶ್ಲೇಷಿಸಲು ಮುಕ್ತ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿಯುತ್ತವೆ ಎಂದು ತಿಳಿದು ಬಂದಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 14. ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರದಲ್ಲಿನ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು. ಜಲಜನಕ ಸಮ್ಮಿಳನದ ಪ್ರಾರಂಭಿಕ ಹಂತದಿಂದ ಮೊದಲ್ಗೊಂಡು ನಕ್ಷತ್ರದ ಜೀವನದ ವಿವಿಧ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ಅದರ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಅದಕ್ಕೆ ನಿಕಟವಾಗಿರುವ ಅನಿಲ ಪದರಗಳಲ್ಲಿ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದಾಗಿ, ವಿವಿಧ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯು ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಕಬ್ಬಿಣದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳಲು ಆರಂಭವಾಗುವವರೆಗೆ ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತದೆ.

ಕೃಪೆ: Uber nemo, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nucleosynthesis_in_a_star.gif. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY.



ಚಿತ್ರ. 15 ನಮ್ಮದೇ ಆದ ನೀಹಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ ಸೂಪರ್‌ನೋವಾ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ಪಳೆಯುಳಿಕೆಗಳು. ಸುಮಾರು ಕ್ರಿ.ಶ. 1054 ರಲ್ಲಿ ಈ ನಕ್ಷತ್ರ ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೊಂಡಿರಬೇಕು ಎಂದು ಖಗೋಳ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಅಭಿಮತ. ಹೊಳೆಯುತ್ತಿರುವ ಅನಿಲೀಯ ರಚನೆ ಹಿಂದೊಮ್ಮೆ ನಕ್ಷತ್ರದ ಭಾಗವಾಗಿತ್ತು. ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದಾಗಿ ಹೊರಭಾಗಕ್ಕೆ ಹಿಗ್ಗುತ್ತಿರುವ ಅನಿಲವು ನಕ್ಷತ್ರದಿಂದ ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಯಾದ ಹಲವು ಹೆಚ್ಚು ಭಾರದ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸೂಪರ್‌ನೋವಾದ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರವೊಂದಿದೆ. ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಅದು ಕಾಣುತ್ತಿಲ್ಲ.

ಕೃಪೆ: NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University), Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Crab_Nebula.jpg. ಪರವಾನಗಿ: CC-BY.

ಹೀಗೆ, ನೂರು ದಶಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ, ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರವು ತನ್ನಲ್ಲಿರುವ ಜಲಜನಕದ ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ಭಾರದ ವಿವಿಧ ಮೂಲಧಾತುಗಳಾಗಿ ರೂಪಾಂತರಿಸುತ್ತದೆ. ಇವೆಲ್ಲವೂ ಅಕ್ಕಪಕ್ಕದ ಅಂತರತಾರಾ ಅನಿಲ ಮೋಡಗಳ ಭಾಗವಾಗಿಬಿಡುತ್ತವೆ. ಈ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಮಿಶ್ರಣವನ್ನು ತಮ್ಮಲ್ಲಿ ಒಂದಾಗಿ ಸೇರಿಸಿಕೊಂಡು, ಹೊಸ ಪೀಳಿಗೆಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಮತ್ತು ಗ್ರಹಗಳು ಈ ಮೋಡಗಳಿಂದಲೇ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ.

ಒಂದು ಸ್ಥೂಲ ಅಂದಾಜಿನ ಪ್ರಕಾರ, ನಮ್ಮ ಆಕಾಶಗಂಗೆಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 100 ದಶಲಕ್ಷ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ತಾರೆಗಳು ಮತ್ತು ಅಷ್ಟೇ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳು ಇರಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಈ ಹಿಂದೆ ಎಷ್ಟು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಸೂಪರ್ ನೋವಾ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳು ಆಗಿಹೋಗಿದ್ದಿರಬಹುದು ಎಂಬ ಅಂದಾಜು ನಮಗೆ ಸಿಗುತ್ತದೆ. ನಮ್ಮ ಆಕಾಶಗಂಗೆಯಂತಹ ಗ್ಯಾಲಾಕ್ಸಿಯೊಂದರಲ್ಲಿ ಪ್ರತಿ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಕನಿಷ್ಠ ಒಂದು ಸೂಪರ್ ನೋವಾ ಸ್ಫೋಟ ಆಗಿರಬಹುದೆಂದು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅಂದಾಜಿಸುತ್ತಾರೆ. ನಮಗೆ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನ ಬಹಳ ವಿರಳವೆಂದೇ ಎನಿಸುತ್ತದೆ ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಿದಾಗ ನಮ್ಮ ಆಕಾಶಗಂಗೆ ಮತ್ತು ಇತರ ನೀಹಾರಿಕೆಗಳು ಎಷ್ಟು ಕಾಲದಿಂದ ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿದ್ದುಕೊಂಡು ಬಂದಿರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸಿ ನೋಡಿ.

ನಮ್ಮೊಳಗೂ ಇದೆ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡ

ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವಿಕಾಸ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಕಥೆಯಾಗಿರುವಂತೆಯೇ, ನಮ್ಮ ಕಥೆಯೂ ಆಗಿದೆ (**ಬಾಕ್ಸ್ 4** ನೋಡಿ). ಒಂದು ಕ್ಷಣ ಹೀಗೆ ಯೋಚಿಸಿ ನೋಡಿ: ತಾರೆಗಳೇ ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೆ ಏನಾಗುತ್ತಿತ್ತು? ಅಥವಾ, ಒಂದು ವೇಳೆ ಅವು ಇದ್ದವೆಂದೇ ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಅವುಗಳು ಸಾವಿನಿಂದ ಅಂತ್ಯವಾಗಿ ಹೋಗದಿದ್ದರೆ ಏನಾಗುತ್ತಿತ್ತು? ಸಮ್ಮಿಳನವಲ್ಲದೆ ಮತ್ತಾವುದೋ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಅವು ತಮ್ಮ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿದ್ದರೆ ಏನಾಗುತ್ತಿತ್ತು? ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವು ಜಲಜನಕ ಮತ್ತು ಕೆಲವು ಹೀಲಿಯಂಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಭಾರದ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಎಂದಿಗೂ ಸಂಶ್ಲೇಷಿಸುತ್ತಲೇ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಬಹುತೇಕ ಬಲುಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನೇ ಒಳಗೊಂಡ ಭೂಮಿಯಂತಹ ಗ್ರಹಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತಲೇ ಇರಲಿಲ್ಲ. ನಾವಿಂದು ತಿಳಿದಿರುವ ಜೀವರಾಶಿಗಳು ಎಂದಿಗೂ ಈ ರೂಪವನ್ನೇ ತಾಳುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಹೀಗೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ವಿಕಾಸವು ನಮಗೆ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ನಮ್ಮ ದೇಹದ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಉಗಮವು 5 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ವಾಸಿಸುತ್ತಿದ್ದ ಮತ್ತು ಸತ್ತ ಕೆಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿತ್ತು. ಇದೇ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಇನ್ನಷ್ಟು ವಿಸ್ತರಿಸಿದರೆ ನಮ್ಮ ದೇಹದಲ್ಲಿನ ಪರಮಾಣುಗಳು ಬಹುಶಃ ಸೌರಮಂಡಲವು ಹುಟ್ಟುವುದಕ್ಕಿಂತ ಬಹಳ ಹಿಂದೆಯೇ ಸೂಪರ್ನೋವಾ ಹಂತ ತಲುಪಿದ ಅನೇಕ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಂದ ಬಂದಿರಬಹುದೆಂದು ನಾವು ಹೇಳಬಹುದು. ಹೆಚ್ಚು ಕಾವ್ಯಾತ್ಮಕವಾಗಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ ನಾವು ಅಕ್ಷರಶಃ ತಾರಾ ರಜ ಅಥವಾ ಸ್ಟಾರ್ಡಸ್ಟ್. ಮುಂದಿನ ಬಾರಿ ನೀವು ನಕ್ಷತ್ರ ಧೂಳಿ ತಿಳಿಆಕಾಶದ ರಾತ್ರಿಯಲ್ಲಿ ಹೊರಬಂದು, ನಕ್ಷತ್ರ ಸಮೃದ್ಧ ಆಕಾಶದ ವಿಶಾಲ ಮೇಲಾವರಣದ ಅಡಿಯಲ್ಲಿ ನಿಂತಾಗ ನಮ್ಮಿಂದ ದೂರ ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಅಲ್ಲಿನ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಅಂಶ ನಮ್ಮೊಳಗೂ ಇವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ನೆನಪಿಡಿ.

ಬಾಕ್ಸ್ 4. ಉತ್ತರ ಸಿಗದ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳು:

ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವನ ಚರಿತ್ರೆ ಖಗೋಳ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಅಚ್ಚುಮೆಚ್ಚಿನ ವಿಷಯ. ಸುಮಾರು ಒಂದು ಶತಮಾನದ ಶ್ರಮಯುಕ್ತ ಸಂಶೋಧನೆಯು ನಿಗೂಢ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವಿತಗಳನ್ನು ಕುರಿತು ಹಲವು ವಿಸ್ಮಯಕಾರಿ ಒಳನೋಟಗಳನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿದೆ. ಆದರೆ, ಇನ್ನೂ ಹಲವು ಪ್ರಶ್ನೆಗಳು ನಿರುತ್ತರವಾಗಿಯೇ ಉಳಿದಿವೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದ ಆದಿಯಲ್ಲಿ ಸೃಷ್ಟಿಯಾದ ಮೊದಲ ವಸ್ತುಗಳ ನಿಖರ ಸ್ವರೂಪವೇನೆಂಬುದು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನದ ದೊಡ್ಡ ಅಜ್ಞಾತ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದಾಗಿದೆ. ಇವೆಲ್ಲವೂ ನಕ್ಷತ್ರಗಳೇ ಆಗಿದ್ದವು. ಆದರೆ, ನಾವೀಗ ನಮ್ಮ ನೀಹಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ನೋಡುತ್ತಿರುವ ರೀತಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲ ಎಂಬುದು ಒಟ್ಟು ಅಭಿಪ್ರಾಯವಾಗಿದೆ. ಬಿಲಿಯನ್‌ಗಟ್ಟಲೆ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ರೂಪುಗೊಂಡ ಮೊದಲ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ ನೂರು ಅಥವಾ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, ಅತ್ಯಲ್ಪ (ಕೆಲವು ನೂರು ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳು), ಆದರೆ ಅದ್ಭುತ ಜೀವನ ನಡೆಸಿದವು. ಖಗೋಳಜ್ಞರು ಇಂದಿಗೂ ಈ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೇಗೆ ರೂಪುಗೊಂಡವು, ಸೂಪರ್‌ನೋವಾಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾದಾಗ ತಮ್ಮ ಸುತ್ತಲಿನ ಪರಿಸರದ ಮೇಲೆ ಹೇಗೆ ಪ್ರಭಾವ ಬೀರಿದವು, ಎಂದೆಲ್ಲಾ ತಿಳಿಯಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸುತ್ತಲೇ ಇದ್ದಾರೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಅನ್ವೇಷಣೆಯ ಕ್ಷೇತ್ರ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಅವಶೇಷಗಳನ್ನು – ಶ್ವೇತಕುಬ್ಜಗಳು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು– ಕುರಿತದ್ದಾಗಿದೆ. ಇವೆರಡೂ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದಲ್ಲಿನ ಅತ್ಯಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸಾಂದ್ರತೆಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುಗಳ ಸಾಲಿನಲ್ಲಿ ಸೇರಿವೆ. ಅಂತಹ ಸಾಂದ್ರತೆಯುಳ್ಳ ಪದಾರ್ಥವನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಸಬಲ್ಲ ಯಾವ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳೂ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲಿಲ್ಲ. ಈ ವಿಲಕ್ಷಣ ಕಾಯಗಳ ಭೌತಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳ ಬಗೆಗಿನ ನಮ್ಮ ಅರಿವು ಸಾಕಷ್ಟು ಅಪೂರ್ಣವಾಗಿಯೇ ಉಳಿದಿದೆ. ಸೂಪರ್ ಕಂಪ್ಯೂಟರ್‌ಗಳ ನೆರವಿನಿಂದ, ಖಗೋಳಜ್ಞರು ವಾಸ್ತವಸದೃಶ (virtual) ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಸಿ, ಭವಿಷ್ಯತ್ತಿನಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ವಿಕಾಸವಾಗುವುದೆಂದು ವೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಾ, ಈ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯಾಗುವ ಅತ್ಯುತ್ತಮ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ.

ಸೂಚನೆ: ಲೇಖನದ ಶೀರ್ಷಿಕೆಯ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿರುವ ಚಿತ್ರ. **ಕೃಪೆ:** X-ray: NASA/CXC/PSU/K.Getman, E.Feigelson, M.Kuhn & the MYStIX team; Infrared: NASA/JPL-Caltech, Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:NASA-FlameNebula-NGC2024-20140507.jpg. ಪರವಾನಗಿ: Public Domain.

ಆನಂದ್ ನಾರಾಯಣನ್ ಅವರು ಭಾರತೀಯ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ ಸಂಸ್ಥೆ (Indian Institute of Space Science and Technology) ಯಲ್ಲಿ ಖಗೋಳ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಅಧ್ಯಾಪಕರಾಗಿದ್ದಾರೆ. ಬಾರ್ಯಾನಿಕ್ ಭೌತದ್ರವ್ಯ ನೀಹಾರಿಕೆಗಳ ಆಚೆಗೆ ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ಪಸರಿಸಿದೆ ಎಂಬುದು ಅವರ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಕ್ಷೇತ್ರ. ಅವರು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಶಾಲಾ ಮತ್ತು ಸಾರ್ವಜನಿಕ ಶೈಕ್ಷಣಿಕ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ನಿಯತವಾಗಿ ಕೊಡುಗೆಯನ್ನು ನೀಡುತ್ತಿದ್ದಾರೆ. ಬಿಡುವಿನ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ದಕ್ಷಿಣ ಭಾರತದ ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ಇತಿಹಾಸವನ್ನು ಅನ್ವೇಷಿಸುತ್ತಾ ಪ್ರವಾಸ ಕೈಗೊಳ್ಳುವುದು ಅವರ ಹವ್ಯಾಸ. **ಅನುವಾದ:** ಬಿ ಎಂ ಚಂದ್ರಶೇಖರ್ **ಪರಿಶೀಲನೆ:** ಜಿ. ವಿ. ನಿರ್ಮಲ