ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಹುಟ್ಟು

ಶ್ರೀನಿವಾಸನ್ ಕೃಷ್ಣನ್

ರಾಸಾಯನಿಕ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಹುಟ್ಟನ್ನು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಒಳಗೆ ನಡೆಯುವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಂತೆ ಹಾಗೂ ಅದು ಮಾನವರಿಗೆ ಹೇಗೆ ಸಂಬಂಧಪಡುತ್ತವೆ ಎಂಬ ನೋಟದಿಂದ ಈ ಲೇಖನವು ಅನ್ವೇಷಿಸುತ್ತದೆ.

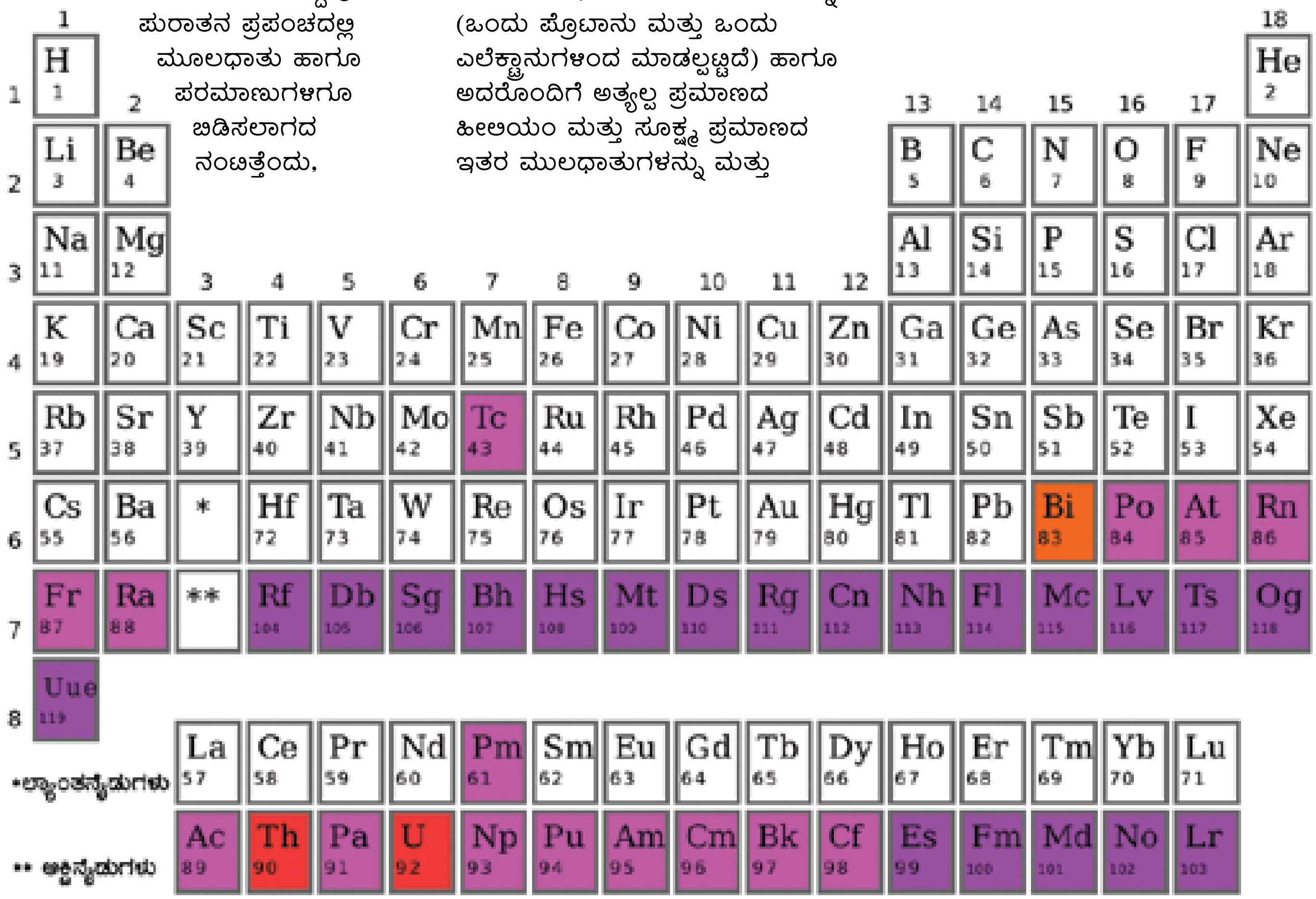
ನಾವು ತಿಳಿದಿರುವ ಈ ವಿಶ್ವವು ವಿಭಿನ್ನ ಪದಾರ್ಥಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ ಎಂಬುದು ಒಂದು ಸ್ವತಃ ಸಿದ್ಧವಾದ ವಾಸ್ತವಿಕತೆ. ನಾವು ವಿಶ್ವವನ್ನು ನಮ್ಮ ಇಂದ್ರಿಯಗಳಿಂದ ಗ್ರಹಿಸುತ್ತಾ ಹೊಸ ಪದಾರ್ಥಗಳ ಆವಿಷ್ಕಾರದಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿದಿರುವುದನ್ನು ಇನ್ನೂ ಉತ್ತಮ ವಿಧದಲ್ಲಿ ವರ್ಗೀಕರಿಸುವಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಊಹನೆ ಮತ್ತು ತರ್ಕ (ಈಗಿರುವ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ಬೌದ್ಧಿಕ ಸಂರಚನೆಯ ದೃಢತೆಯನ್ನು ಬಹುವಾಗಿ ಆಧರಿಸಿವೆ) ಗಳ ಬಲ ಪಡೆಯುವೆವು. ಪ್ರಾಚೀನ ಕಾಲದಿಂದಲೂ ಮಾನವರು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತಿರುವ ಬಲಯುತ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ಸಾಮರ್ಥ್ಯಗಳನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸಿದರೆ ಈಗಾಗಲೇ ಲಭ್ಯವಿರುವ ಪದಾರ್ಥಗಳ ಸೂಕ್ತ ಸಂಯೋಜನೆ ಅಥವಾ ಭಟ್ಟಿ ಇಳಸುವಿಕೆಯ ಮೂಲಕ ಹೊಸ ವಿಧದ ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಸಬಲ್ಲೆವು. ಎಂಬುದು ಬಹು ಸ್ಪಷ್ಟ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಅಡುಗೆ ಸಿದ್ಧಪಡಿಸುವಿಕೆ, ಔಷಧಿ ಮತ್ತು ಪೇಯಗಳ ಮಿಶ್ರಣ, ಕಟ್ಟಡ ಮತ್ತು ಸಲಕರಣೆಗಳ ನಿರ್ಮಾಣ ಇತ್ಯಾದಿ. ಇಚ್ಛಿತ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳಿರುವ ಇನ್ನೂ ಅಧಿಕ ಸಂಕೀರ್ಣ ಪದಾರ್ಥ ಹಾಗೂ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳನ್ನು ರಚಿಸಲು ಕಾಲಕಾಲದಲ್ಲಿ ಈ ಕೆಳಗಿನ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸಿದ್ದಿರಲೇಬೇಕು, “ಯಾವ ಮೂಲಭೂತ ಪದಾರ್ಥಗಳಿಂದ ಮತ್ತೆಲ್ಲಾ ಪದಾರ್ಥಗಳು ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ?”

ವಿವಿಧ ನಾಗರಿಕತೆಗಳು ಈ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಉತ್ತರಿಸಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದ್ದು ಅವೆಲ್ಲವೂ “ಮೂಲಧಾತುಗಳ” ಅಸ್ತಿತ್ವವನ್ನು ತರ್ಕಿಸಿದಂತೆ ತೋರುವುದು. ವಿಶ್ವಸೃಷ್ಟಿಯ ಸಮಯದಲ್ಲೇ ಸೃಷ್ಟಿಗೊಂಡವೆಯೆಂದು ನಂಬಲಾದ ಈ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ವಿಶಿಷ್ಟವೂ ಮತ್ತು ಈಗಿರುವ ಇತರ ಸಂರಚನೆಗಳ ಮೂಲಭೂತ ನಿರ್ಮಾಣ ಘಟಕಗಳು ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗಿದೆ. ಭಾರತೀಯರು ಮತ್ತು ಗ್ರೀಕರು ಪ್ರಪಂಚವು ಆಕಾಶ, ವಾಯು, ಜಲ, ಅಗ್ನಿ ಮತ್ತು ಪೃಥ್ವಿ– ಈ ಐದು ತತ್ವಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ ಎಂದು ಆಲೋಚಿಸಿದರು: ಚೀನಿಯರು ಪ್ರಪಂಚದ ಎಲ್ಲ ಪದಾರ್ಥಗಳು ಮರ, ಲೋಹ, ಪೃಥ್ವಿ, ಜಲ ಮತ್ತು ಅಗ್ನಿಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದ್ದರು.

ಮತ್ತೊಂದೆಡೆ ಪರಮಾಣುಗಳು ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಅವಿಭಾಜ್ಯ ಕಣಗಳು ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದವು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಕಣಾದ ಎಂಬ ಕ್ರಿಪೂ. 6ನೇ ಶತಮಾನದ ವೈಶೇಷಿಕ ತತ್ವಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರವರ್ತಕ ನಾಲ್ಕು ತತ್ವಗಳಾದ ಭೂಮಿ, ಜಲ, ಅಗ್ನಿ ಮತ್ತು

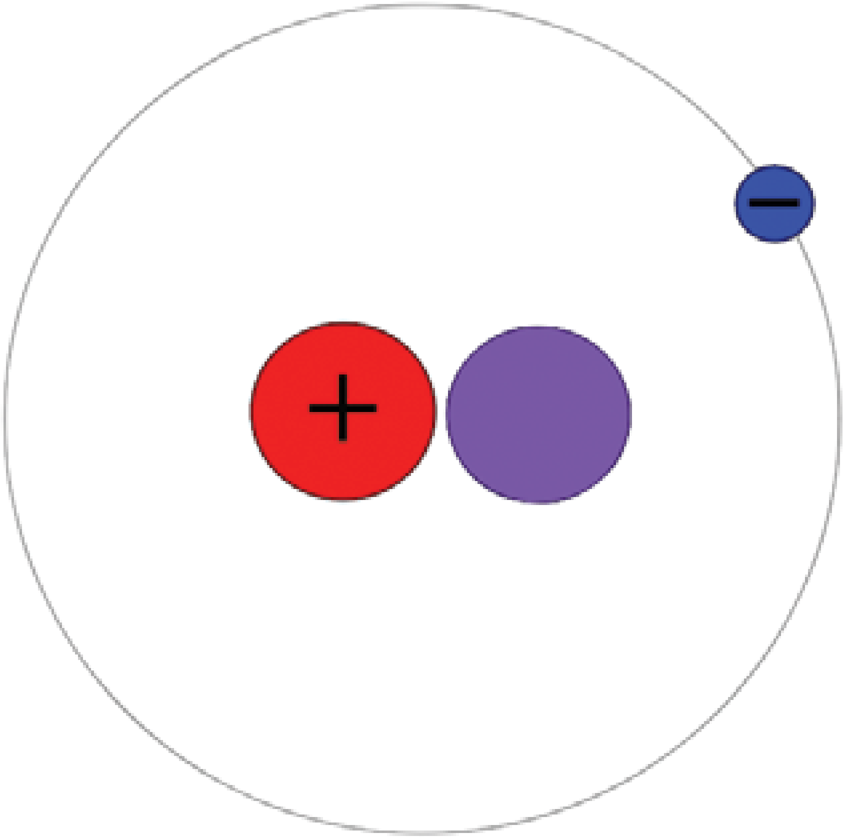
ವಾಯು – ಇವುಗಳಿಗೆ ಸಂವಾದಿಯಾದ ನಾಲ್ಕು ಮೂಲವಿಧದ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಈ ಪ್ರಪಂಚವು ನಿರ್ಮಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ ಎಂದು ವಾದಿಸಿದನು. ಈ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪರಮಾಣು ವಿಧಗಳು ತಮ್ಮದೇ ಆದ ವಿಶಿಷ್ಟ ಗುಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದವು ಹಾಗೂ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಎಲ್ಲಾ ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸಲು ಸಂಕೀರ್ಣ ನಿಯಮಗಳಿದ್ದವು. ಇದೇ ರೀತಿ ಬೌದ್ಧ, ಜೈನ, ಇಸ್ಲಾಮಿಕ್ ಮತ್ತು ಗ್ರೀಕ್ ದಾರ್ಶನಿಕ ಪಂಥಗಳು ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಎಲ್ಲ ಭೌತದ್ರವ್ಯಗಳನ್ನು ಪ್ರತಿನಿಧಿಸುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಂಡಿಸಿದವು.ಆದರೆ ಅವುಗಳ ವಿವರಣೆ ಮತ್ತು ಗುಣಗಳು ವಿಭಿನ್ನವಾಗಿದ್ದವು. (ನೋಡಿ: ಬರ್ನಾಡ್ ಪುಲ್‌ಮನ್‌ರವರ “ದಿ ಆಟಂ ಇನ್ ದಿ ಹಿಸ್ಟರಿ ಆಫ್ ಹ್ಯೂಮನ್ ಥಾಟ್”). ಆದರೆ, ಎಲ್ಲ ದಾರ್ಶನಿಕ ಪಂಥಗಳು ಪರಮಾಣುಗಳು ಚಿರಂತನ, ಅವಿನಾಶಿ ಮತ್ತು ಅವಿಭಾಜ್ಯ ಎಂದೂ ಮತ್ತು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಯಾವುದೇ ವಿಧದ ಪರಮಾಣುಗಳು ಏಕರೂಪತೆಯುಳ್ಳವು ಎಂದು ಅಂಗೀಕರಿಸಿದ್ದವು. ಪುರಾತನ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಮೂಲಧಾತು ಹಾಗೂ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೂ ಬಿಡಿಸಲಾಗದ ನಂಟಿತ್ತೆಂದು, ಆಧುನಿಕ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿಯೂ ಇದು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚೆಂದು, ಇದರಿಂದ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗುವುದು. ಇಂದು ನೈಸರ್ಗಿಕವಾಗಿ ದೊರಕುವ 92 ಮೂಲಧಾತುಗಳು ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿವೆ. ಆದರೂ 92ಕ್ಕಿಂತ ಅಧಿಕ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (ಅಟಾಮಿಕ್ ನಂಬರ್) ಹೊಂದಿರುವ ಇನ್ನೂ ಅಧಿಕ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಕೃತಕ ಉತ್ಪಾದನೆ ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಇಂತಹ ಸೃಷ್ಟಿಗೆ ಅನುವಾಗುವಂತೆ ಪರಮಾಣುಗಳು ಮತ್ತು ಮೂಲಧಾತುಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧ ಸಾಕಷ್ಟು ಸ್ಫುಟವಾಗಿರುವುದರಿಂದಲೇ ಇದು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಆಧುನಿಕ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ತಿಳುವಳಿಕೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಈ ನೈಸರ್ಗಿಕ ಧಾತುಗಳು ಹೇಗೆ ರಚಿತಗೊಂಡವು? ವಿಶ್ವದ ಹುಟ್ಟಿನ ಬಗೆಗೆ ಹೇಳುವ ಬಿಗ್‌ಬ್ಯಾಂಗ್ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಬಹುತೇಕ ಎಲ್ಲರಿಂದ ಅಂಗೀಕೃತಗೊಂಡ ಸಿದ್ಧಾಂತವಾಗಿದೆ. ಇದು ಪ್ರಾಚೀನ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಮಂಡಿಸಲಾದ ಕೆಲವು ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಸುಮಾರು 14 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಘಟಿಸಿದ ಈ ಘಟನೆಯು ಆದಿ ಮೂಲಧಾತುವಾದ ಜಲಜನಕವನ್ನು (ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ) ಹಾಗೂ ಅದರೊಂದಿಗೆ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಹೀಲಿಯಂ ಮತ್ತು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಮಾಣದ ಇತರ ಮುಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಐಸೋಟೋಪುಗಳನ್ನು (ಸಮಸ್ಥಾನಿಕ) ಸೃಷ್ಟಿಸಿದೆ ಎಂದು ನಂಬಲಾಗಿದೆ. ವಿಶ್ವದ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಂದಲೂ ಮತ್ತು ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ ಫಲಿತಾಂಶದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಿಗ್‌ಬ್ಯಾಂಗ್ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಅಸ್ತಿತ್ವಕ್ಕೆ ಬಂದಿದೆ ಎಂಬ ಅಂಶವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದಾಗ ಇದು ಬಹಳ ಕುತೂಹಲಕಾರಿಯಾಗಿದೆ.

ಮೂಲಧಾತು ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕುರಿತು ಹೇಳುವ ಹಳೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳು ಆಧುನಿಕ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ತರ್ಕಬದ್ಧ ನಿಷ್ಕರ್ಷೆಯ ಎದುರು ನಿಲ್ಲಲಾರದೆ ಹೋದದ್ದರಿಂದ ನಾವು ಈ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳನ್ನು ಹೊಸದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡೋಣ. “ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ಹೇಗೆ ವ್ಯಾಖ್ಯಾನಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ?” ಮತ್ತು “ಪರಮಾಣುಗಳು ಎಂದರೇನು ಮತ್ತು ಅವು ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಗೆ ಹೇಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿವೆ?”. ಮೊದಲನೆಯ ಪ್ರಶ್ನೆಯಿಂದ ಪ್ರಾರಂಭಿಸುತ್ತಾ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಹುಟ್ಟಿನ ಅನ್ವೇಷಣೆಯ ಪಯಣವನ್ನು ಆರಂಭಿಸೋಣ.



ಚಿತ್ರ 1. ತಿಳಿದಿರುವ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಆವರ್ತಕಕೋಷ್ಟಕ

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



ಚಿತ್ರ 2. ಒಂದು ಡ್ಯುಟೆರಿಯಂ ಪರಮಾಣು
ಕೃಪೆ: ZYjacklin, Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:H-2_atom.png. License: Public Domain.

ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ವ್ಯಾಖ್ಯಾನಿಸುವುದು

ಐತಿಹಾಸಿಕವಾಗಿ, ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ವಿವಿಧ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಖ್ಯಾನಿಸಲಾಗಿದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಈಗ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿ ಇಲ್ಲದ ಒಂದು ವ್ಯಾಖ್ಯೆ ಹೀಗಿದೆ:" ಇನ್ನೂ ಸರಳ ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿಭಜಿಸಲಾಗದ ವಸ್ತುವೇ ಮೂಲಧಾತು". ಬಹುಶಃ ಇದು ಮೂಲಧಾತುವಿನ ಮೊದಲ ಉಪಯುಕ್ತ ವ್ಯಾಖ್ಯೆ. ಏಕೆಂದರೆ ಇದರಿಂದ ಒಂದು ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ಮತ್ತೊಂದರಿಂದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಬೇರೆ ಎಂದು ಗುರುತಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.ಒಂದು ವಸ್ತುವನ್ನು ಎರಡು ಅಥವಾ ಎರಡಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಹೊಸ ಮೂಲಧಾತುಗಳಾಗಿ ವಿಭಜಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತೆಂದು ಭಾವಿಸಿ. ಹೀಗೆ ದೊರೆತ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಪುನರ್‌ಸಂಯೋಜಿಸಿದಾಗ ಮೊದಲ ವಸ್ತುವನ್ನೇ ಅವು ಕೊಟ್ಟಿದ್ದಲ್ಲಿ ಆಗ ವಸ್ತು ಖಂಡಿತವಾಗಿಯೂ ಮೂಲಧಾತುವಲ್ಲ. ಆದರೆ ಒಂದು ವಸ್ತು (ಅಥವಾ ಪದಾರ್ಥ) ನಿಜಕ್ಕೂ ಒಂದು ಮೂಲಧಾತು ಎಂದು ನಿಶ್ಚಿತವಾಗಿ ದೃಢೀಕರಿಸಲು ಈ ವ್ಯಾಖ್ಯೆಯನ್ನು ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ ಎಂಬುದೇನೋ ನಿಜವೇ. ಏಕೆಂದರೆ ಒಂದು ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಲಭ್ಯವಿದ್ದ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಿಂದ ವಿಭಜಿಸಲಾಗದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಮುಂದಿನ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ಉತ್ಕೃಷ್ಟ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಗಳು ಲಭ್ಯವಾದಾಗ ವಿಭಜಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ವ್ಯಾಖ್ಯೆಯನ್ನು ನೋಡಿ. ಇದೂ ಕೂಡ ರೂಢಿಯಲ್ಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಹೆಚ್ಚು ಉಪಯುಕ್ತ. *"ಏಕರೂಪವುಳ್ಳ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ವಸ್ತುವೇ ಮೂಲಧಾತು"* ಈ ವ್ಯಾಖ್ಯೆ ಜಾನ್‌ಡಾಲ್ಟನ್ನನ ಪರಮಾಣು ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಮುಖ ಅಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದಾಗಿತ್ತು. ಅದರೆ ಐಸೊಟೋಪು (ಸಮಸ್ಥಾನಿ)ಗಳ ಆವಿಷ್ಕಾರದಿಂದ ಇದರ ಬಳಕೆ ತಪ್ಪಿತು. ಈ ಆವಿಷ್ಕಾರವು ವಿಭಜಿಸಲಾಗದ ವಸ್ತುಗಳೇ ಮೂಲಧಾತುಗಳೆಂಬ ವ್ಯಾಖ್ಯೆಯನ್ನು ನಿರರ್ಥಕವನ್ನಾಗಿಸಿತು. ಏಕೆಂದರೆ ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ಇದಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಿನ್ನ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅದರ ಐಸೋಟೋಪುಗಳಾಗಿ ವಿಭಜಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಅಂದರೆ ಕೊಟ್ಟಿರುವ ಒಂದು ಮೂಲಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣುಗಳು ವಿವಿಧ ರೂಪಗಳಲ್ಲಿ ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿರಬಹುದು. ಈ ಅಂಶ ಡಾಲ್ಟನ್ನನ ವ್ಯಾಖ್ಯೆಯನ್ನು ಅಲ್ಲಗಳೆಯುವುದು. ಅಲ್ಲದೆ ಅದರ ಐಸೊಟೋಪುಗಳ ಪುನರ್‌ಸಂಯೋಜನೆ ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ತಿರುಗಿ ಕೊಡುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಹಿಂದಿನ ವ್ಯಾಖ್ಯೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಐಸೋಟೋಪನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಯಾವುದೇ ಮೂಲಧಾತು ನಿಜ ಅರ್ಥದಲ್ಲಿ ಮೂಲಧಾತುವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಇದರ ಒಂದು ಸ್ಪಷ್ಟ ಉದಾಹರಣೆ ಭಾರಜಲದ ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿ (ಹೆವಿ ವಾಟರ್) ನೋಡಲು ಸಿಗುವುದು. ಸಾಮಾನ್ಯ ಜಲದಲ್ಲಿ ವಾಡಿಕೆಯ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನುಳ್ಳ ಜಲಜನಕವಿರುವುದು: ಆದರೆ ಭಾರಜಲದಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕದ ಐಸೋಟೋಪ್ ಆದ ಡ್ಯುಟೆರಿಯಂ ಇರುವುದು. ಇದರಿಂದಾಗಿ ಭಾರಜಲದ ಅಣುಗಳು ಗಣನೀಯ ಅಧಿಕತರ ತೂಕವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುವು. (ಒಂದು ಮೋಲ್ ಭಾರಜಲವು ಒಂದು ಮೋಲ್ ಸಾಮಾನ್ಯ ಜಲಕ್ಕಿಂತ ಸುಮಾರು 2 ಗ್ರಾಂನಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಭಾರವಿರುವುದು. ಇದರ ಘನೀಕರಣ ಬಿಂದು (Freezing temperature) ಸುಮಾರು 4 ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಂಟಿಗ್ರೇಡ್ ಮತ್ತು ಸಾಂದ್ರತೆ 11%ನಷ್ಟು ಅಧಿಕ. ಭಾರಜಲವು ಅಸಾಮಾನ್ಯ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಮತ್ತು ಜೈವಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು ಇದನ್ನು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯರ್ ರಿಯಾಕ್ಟರುಗಳಲ್ಲಿ

ಮಂದಕಾರಿಯಾಗಿ (ಮಾಡರೇಟರ್) ಅಂದರೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳಲು ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಒಂದು ಐಸೊಟೋಪಿನ ಅಸ್ತಿತ್ವ ಮಾತ್ರದಿಂದಲೇ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಥ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ತೋರಿಬರುವುದು ಎಂದರೆ ಇದು ವಿಸ್ಮಯಕಾರಿ ಸಂಗತಿಯಲ್ಲವೇ?

ರಸಾಯನ ವಿಜ್ಞಾನದ ಆಧುನಿಕ ಯುಗವು "ರಸಾಯನ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪಿತಾಮಹ" ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುವ ಆಂಟೊನೆ–ಲಾರೆಂಟ್‌ದ–ಲೆವೋಸಿಯೆ ಎಂಬಾತ (1743–1794) ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ವರ್ಗೀಕರಿಸಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದಾಗ ಸರಿಸುಮಾರು 1789 ರಲ್ಲಿ ಆರಂಭವಾಯಿತು. ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಶ್ಲೇಷಣಾ ವಿಧಾನದಿಂದ ಮತ್ತಷ್ಟು ವಿಭಜಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದ ವಸ್ತುವನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ಮೂಲಧಾತು ಎಂದು ಲೆವೋಸಿಯೆ ವ್ಯಾಖ್ಯಾನಿಸಿದನು. ಇದು ಬಹಳ ಕರಾರುವಾಕ್ಕಾದ ವ್ಯಾಖ್ಯಾನ. ಇದು ಗಮನಾರ್ಹವಾದುದೂ ಕೂಡ. ಏಕೆಂದರೆ ಪುನರಾವಲೋಕನ ಮಾಡಿದಾಗ "ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯಿಂದ ವಿಭಜಿಸಲಾಗದ" ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಈ ವ್ಯಾಖ್ಯಾನವನ್ನು ಸೀಮಿತಗೊಳಿಸಿದ್ದರಿಂದ ಬಹುಶಃ 150 ವರ್ಷಗಳ ನಂತರ ತಿಳಿದು ಬರುವ ಇತರ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಮುಂದೊಂದು ದಿನ ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ವಿಭಜಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದು ಎಂದು ಲೆವೋಸಿಯೆ ತರ್ಕಿಸಿರಬಹುದು ಎಂದು ತೋರುತ್ತದೆ (**ಬಾಕ್ಸ್** 1 ನೋಡಿ).

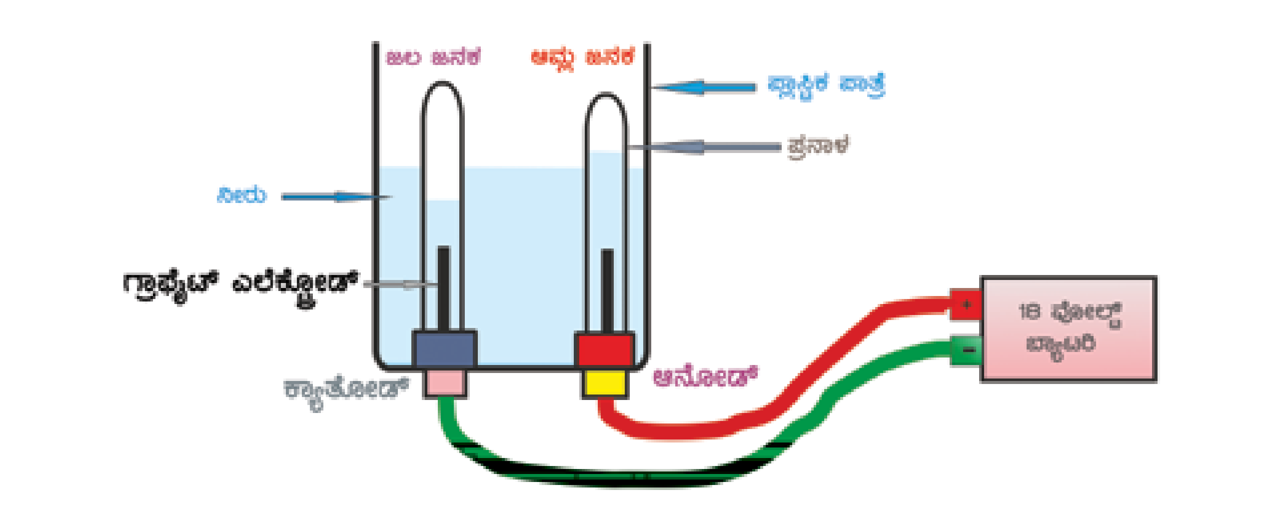
ಬಾಕ್ಸ್ 1. ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಸಾಧಿಸುವುದು

ಒಂದು ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ಧಾತುವೆಂದೇ ನಿಶ್ಚಯಿಸುವುದು. ಇದು ಖಂಡಿತವಾಗಿಯೂ ಒಂದು ಸಂಯುಕ್ತ ಅಥವಾ ಮಿಶ್ರಣ ಏಕಲ್ಲ?

ಎರಡು ಗ್ರಾಫೈಟ್ ದಂಡಗಳನ್ನು (ಪೆನ್ಸಿಲ್‌ನ ಎರಡು ದಪ್ಪ ಲೆಡ್‌ಗಳನ್ನೂ ಬಳಸಬಹುದು) ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿರುವ ನಲ್ಲ ನೀರಿನೊಳಗೆ ಮುಳುಗಿಸಿ ಅವುಗಳನ್ನು 18 ವೋಲ್ಟ್ ಬ್ಯಾಟರಿಗೆ ಜೋಡಿಸಿದರೆ ಎರಡೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರೋಡ್‌ಗಳ ಬಳಿ ಗುಳ್ಳೆಗಳು ಏಳುವುದನ್ನು ನೀವು ನೋಡುವಿರಿ. ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರೊಡುಗಳ ಬಳಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಟೆಸ್ಟ್‌ಟ್ಯೂಬ್‌ನಲ್ಲಿ ಸುಲಭವಾಗಿ ಸಂಗ್ರಹಿಸಬಹುದು. ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕ ಮತ್ತು ಇತರ ಮೂಲಗಳಿಂದ ನಮಗೀಗ ತಿಳಿದಿರುವುದು ಏನೆಂದರೆ ಈ ಎರಡೂ ಅನಿಲಗಳು ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಅಂದರೆ ಜಲಜನಕ ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ ಎಂದು. ಆದರೆ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಇದನ್ನು ಹೇಗೆ ಪ್ರಮಾಣೀಕರಿಸುವುದು?

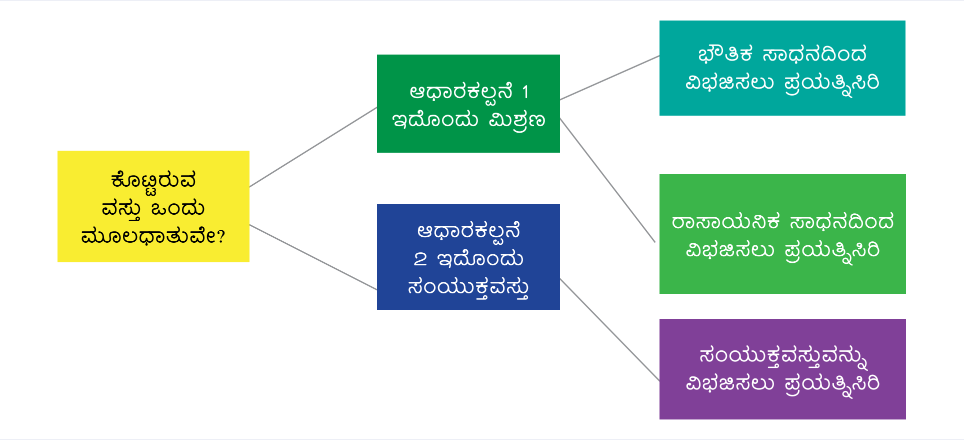
ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಿ. ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ ಇದು ಎರಡು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಅನಿಲಗಳ ಮಿಶ್ರಣ ಎಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ಅನಿಲ ಬೇರ್ಪಸುವಿಕೆಯ ಎಲ್ಲ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಕನಿಷ್ಠ ಒಂದು ವಿಧಾನದಿಂದ ಈ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲೇಬೇಕು ಎಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. ಆಗ ಆಮ್ಲಜನಕ ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಅನಿಲಗಳ ಮಿಶ್ರಣ ಎಂದು ಪ್ರಮಾಣೀಕರಿಸಿದಂತಾಗುವುದು. ಆದರೆ ವಾಸ್ತವ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಆಮ್ಲಜನಕದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಐಸೊಟೋಪುಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಬೇರ್ಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದ್ದು ಅವೆಲ್ಲವೂ ಭೌತಿಕ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸಮಾನತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ.

ಆದಾಗ್ಯೂ ನಮಗೆ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಎರಡು ಅನಿಲಗಳನ್ನಾಗಿ ಬೇರ್ಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದಿರುವುದು ಹಾಗೆ ಮಾಡಲು ಅಗತ್ಯವಾದ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ ನಮ್ಮ ಬಳಿ ಇಲ್ಲದಿರುವುದು ಎಂದು ಯಾರಾದರೂ ವಾದ ಮಾಡಿಯಾರು. ಆದ್ದರಿಂದ ನಾವು ಈ ರೀತಿಯ ಆಧಾರಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಬಹುದು – ಪರಸ್ಪರ ಭಾರದಲ್ಲಿ ಸಮಾನವಾಗಿರುವ ಹಲವು ಅನಿಲೀಯ ಘಟಕಗಳ ಇರುವಿಕೆಯನ್ನು ಆಮ್ಲಜನಕದ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳು ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದು. ಅಲ್ಲದೆ, ಈ ಕಾರಣದಿಂದಲೇ ನಮ್ಮ ಬೇರ್ಪಡಿಸುವಿಕೆಯ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಅವನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದಿರುವುದು ಎಂಬೀ ಆಧಾರಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ನಾವು ಮಾಡಬಹುದಾಗಿದೆ. ಆಮ್ಲಜನಕ ಮತ್ತು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣದ ಶುದ್ಧ ಕ್ಷಾರೀಯ ಲೋಹಗಳ, (ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಸೋಡಿಯಂ ಮತ್ತು ಪೊಟಾಸಿಯಂ) ನಡುವಣ ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಯ ಮುಖಾಂತರ ಈ ಆಧಾರ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ನಾವು ಸಂಕ್ರಮಣ ಮೂಲಧಾತುಗಳ (ಟ್ರಾನ್ಸಿಷನ್ ಎಲಿಮೆಂಟ್ಸ್)ಬಳಕೆಯನ್ನು ಇಲ್ಲಿ ಮಾಡುವುದಿಲ್ಲ. ಏಕೆಂದರೆ ವಿಭಿನ್ನ ಉತ್ಕರ್ಷಣ ಸ್ಥಿತಿಯುಳ್ಳ ಅವುಗಳು ಒಂದೇ ವಸ್ತುವಿನೊಂದಿಗೆ



ಚಿತ್ರ 3. ನೀರಿನ ವಿದ್ಯುದ್ವಿಶ್ಲೇಷಣೆ : ಟೆಸ್ಟ್ ಟ್ಯೂಬುಗಳಲ್ಲಿ ಆಮ್ಲಜನಕ ಮತ್ತು ಜಲಜನಕ ಸಂಗ್ರಹವಾಗುತ್ತಿವೆ.

ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಒಳಗಾದಾಗ ಭಿನ್ನಭಿನ್ನ ಸಂಯುಕ್ತವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಕೊಡುತ್ತದೆ.ಯಾವುದಾದರೊಂದು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ನೋಟ, ವಾಸನೆ, ಸ್ಪರ್ಶ ಅಥವಾ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳ ಮೂಲಕ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಗುರುತಿಸಬಹುದಾದ ಎರಡು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಯುಕ್ತವಸ್ತುಗಳು ಉಂಟಾದರೆ ಆಗ ನಮ್ಮ ಆಧಾರಕಲ್ಪನೆ ಸರಿ ಎಂದು ದೃಢೀಕರಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೊಂದು ರೀತಿಯ ಪರೀಕ್ಷೆ ಎಂದರೆ ಇತರ ಮೂಲಗಳಿಂದ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ಪಡೆಯುವುದು ಅಂದರೆ ಮರ್ಕ್ಯೂರಿ ಆಕ್ಸೈಡನ್ನು ಅಥವಾ ಕೆಲವು ನೈಟ್ರೇಟುಗಳನ್ನು ಬಿಸಿಮಾಡುವುದರ ಮೂಲಕ. ಇಂಥ ಆಮ್ಲಜನಕವು ನೀರನ್ನು ವಿಭಜಿಸಿ ಅಲ್ಲಿಂದ ದೊರೆತ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ತ್ಯಜಿಸಿ ಬಂದ ಜಲಜನಕದೊಡನೆ ಸೇರಿಸಿದಾಗ ನೀರು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕು. ಹಾಗಾದರೆ (ನಮಗೆ ಹಾಗೆ ಸಿಗುವುದುಂಟು) ಆಮ್ಲಜನಕವು ಅನಿಲಗಳ ಒಂದು ಮಿಶ್ರಣವಲ್ಲ ಎಂಬ ಸರಳ ವಿವರಣೆ ಸರಿ ಎಂಬುದನ್ನು ಇದು ತೋರಿಸುವುದು. ಓ! ಒಂದು ವಸ್ತು ಮಿಶ್ರಣವಲ್ಲ ಎಂದು



ಚಿತ್ರ 4. ವಸ್ತುವೊಂದು ಮೂಲಧಾತುವೆಂದು ತೋರಿಸುವ ಪರೀಕ್ಷಣಾ ರೂಪುರೇಖೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ಗತಿನಕ್ಷೆ

ತೋರಿಸಲಷ್ಟೇ ಇಷ್ಟೆಲ್ಲಾ ಕೆಲಸವೇ!

ಆದಾಗ್ಯೂ ಆಮ್ಲಜನಕದ ಮೂಲಧಾತು ಸ್ವಭಾವಕ್ಕೆ ನಾವು ಒದಗಿಸುವ ಪ್ರಮಾಣ ಇನ್ನೂ ಅಂತಿಮವಾದುದಲ್ಲ. ಆಮ್ಲಜನಕವು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಸಂಯುಕ್ತವಸ್ತುವೇ ಹೊರತು ಮಿಶ್ರಣವಾಗಿರಲಾರದು ಎಂಬ ಸಂಭವನೀಯತೆಯನ್ನು ನಾವು ಪರಿಗಣಿಸಿದರೆ ಆಗ ಏನು? ಆಗ ಸನ್ನಿವೇಶವು ಮತ್ತಷ್ಟು ಸಂಕೀರ್ಣವಾಗುವುದು. ಪ್ರಥಮತಃ ಈ ಸಂಯುಕ್ತವಸ್ತುವನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ವಿಭಜಿಸುವಂಥ ಉಪಕರಣವನ್ನು ನಾವಿನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯದೇ ಇರಬಹುದಾದ ಕಾರಣದಿಂದ ಹಾಗೂ ಮತ್ತಾರಾದರೂ ಹಾಗೆ ಮಾಡಲು ಸಮರ್ಥರಾಗುವವರೆಗೂ ಆಮ್ಲಜನಕವು ಮೂಲಧಾತುವೆಂದೇ ಪರಿಗಣಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ನಾವು ಹಾಗೆ ಸಮರ್ಥರಾದಾಗ ಆ ಉಪಕರಣದಿಂದ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ಘಟಕಗಳಾಗಿ ವಿಭಜಿಸಿ ಆ ಘಟಕಗಳನ್ನು ಪುನಃ ತಿಳಿದಿರುವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಮಾರ್ಗದಿಂದ ವಿಭಜಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದಿದ್ದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಮೂಲಧಾತುಗಳೆಂದು ಪರಿಗಣಿಸುವೆವು. ಇದುವರೆಗೂ ಹೀಗೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿಲ್ಲ. ಹಾಗಾಗಿ ನಾವು ಆಮ್ಲಜನಕವು ಸಂಯುಕ್ತವಸ್ತುವಲ್ಲ ಅದೊಂದು ಮೂಲಧಾತುವೆಂದು 'ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ'. ನಿಮಗೆ ಹೊಸದಾದ ವಸ್ತುವೊಂದನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲು ಸಂಭಾವ್ಯ ಪರೀಕ್ಷಣಾ ವಿಧಾನವನ್ನು ತೋರಿಸುವ ಗತಿನಕ್ಷೆಯನ್ನು (Flow chart) ನೋಡಿ.

ಈಗ ನಾವು ಎರಡನೇ ಪ್ರಶ್ನೆಯತ್ತ ಗಮನ ಹರಿಸೋಣ. "ಪರಮಾಣುಗಳು ಎಂದರೇನು ಮತ್ತು ಅವುಗಳು ಮೂಲಧಾತುಗಳಿಗೆ ಹೇಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿವೆ?". ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯರ್ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ, ಖಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ಇತ್ಯಾದಿಗಳಲ್ಲಾದ ಮುನ್ನಡೆಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಂತಹ 19 ಮತ್ತು 20ನೇ ಶತಮಾನಗಳ ಹಲವು ಅದ್ಭುತ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಆವಿಷ್ಕಾರಗಳು ವಿವಿಧ ಬಗೆಯ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟಿವೆ. ಪರಮಾಣುಗಳು ಮೂರು ಮೂಲಭೂತವಾದ ಸ್ಥಿರಕಣಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ– ಧನಾವೇಶಿತ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು, ಶೂನ್ಯ ನಿವ್ವಳ ಆವೇಶವುಳ್ಳ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಮತ್ತು ಋಣಾವೇಶಿತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು. ಯಾವುದೇ ಮೂಲಧಾತುವಿನ ಪರಮಾಣುಗಳು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು ಇವು ಒಟ್ಟಿಗೆ ಸೇರಿ ಸಣ್ಣ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಈ ಮಧ್ಯದ ತಿರುಳಿನ ಸುತ್ತ ಸುತ್ತುತ್ತವೆ. ಈ ಮೂರು ಕಣಗಳನ್ನು ಮನದಲ್ಲಿರಿಸಿಕೊಂಡು ನಾವೀಗ ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ನಿಖರವೂ ಸುಸ್ಪಷ್ಟವೂ ಆದ ಅದರ ಪರಮಾಣುವಿನ ವ್ಯಾಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಬಲ್ಲೆವು:

"ಒಂದು ಮೂಲಧಾತುವು ಒಂದೇ ವಿಧದ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದು ಆ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದೇ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳನ್ನು (ಅದರ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ) ಹೊಂದಿರುವುವು." ಒಂದು ಸ್ವತಂತ್ರ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಸ್, ಪೈಯಾನ್ಸ್, ಕೆಯಾನ್ಸ್, ಫೋಟಾನ್ಸ್ ಇತ್ಯಾದಿ ಉಪ ಪರಮಾಣು ಕಣಗಳನ್ನು ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗದೆಂಬ ಅಂಶವನ್ನು ಈ ವ್ಯಾಖ್ಯೆ ಸ್ಪಷ್ಟೀಕರಿಸುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುಗಳ ಅವಲೋಕನ

ಪರಮಾಣು ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸುವುದು ಎಂದರೆ ಅರ್ಥವೇನು ಎಂದು ನಾವೀಗ ನೋಡೋಣ.ನಮಗೆ ಇದರ ಅಗತ್ಯವಾದರೂ ಇದೆಯೇ? ಹೀಗೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಸಿಗುವ ಲಾಭಗಳೇನು? ಆದರೆ ನಾವು ಮೊದಲು ಇನ್ನೂ ಸರಳ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳನ್ನು ಕೈಗೆತ್ತಿಕೊಳ್ಳೋಣ– ಪರಮಾಣುಗಳು ನಿಜಕ್ಕೂ ಇವೆಯೇ? ಇವೆ ಎಂದಾದರೆ ಅವುಗಳನ್ನು ನೋಡಬಹುದೇ? (**ಬಾಕ್ಸ್ 2** ನೋಡಿ).

ನಾವೀಗ ಸ್ಪಷ್ಟ ನೆಲೆಯಲ್ಲಿದ್ದೇವೆಯಾದ್ದರಿಂದ ನೇರವಾಗಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಕಾಣಲಾರೆವಾದರೂ ಪರಮಾಣುಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಬಗೆಗೆ ನಿಸ್ಸಂಶಯವಾಗಿದ್ದೇವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಬಿಗ್‌ಬ್ಯಾಂಗ್ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ರಚಿತಗೊಂಡ ಆದಿ ಮೂಲಧಾತುವಾದ ಜಲಜನಕದಿಂದ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಸೃಷ್ಟಿಗೊಂಡಿವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಹೇಗೆ ಕಾಣಲಾಗಿದೆ ಎಂದು ನೋಡೋಣ.

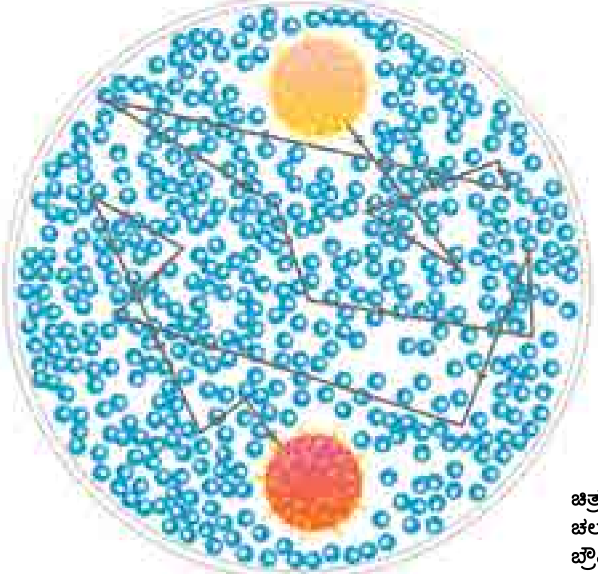
ಅನಿಲೀಯ ಜಲಜನಕದ ಮೋಡದ ಒಳಗಿನ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿಗಳು

ಸೃಷ್ಟಿಗೊಂಡ ನಂತರ ವಿಶ್ವವು ಶೀತಲಗೊಳ್ಳುತ್ತಲೇ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುಗಳು ದಟ್ಟ ಮೋಡಗಳಾಗಿ ಸಾಂದ್ರಗೊಂಡವು. ಇವು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟದ್ದವು. (ಈ ಮೋಡಗಳು ಹೇಗೆ ಸಾಂದ್ರಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ ಎಂಬುದರ ವಿವರಣೆಗೆ ಇದೇ ಸಂಚಿಕೆಯ "ಗ್ರಹ ವಿಶ್ವಗಳ ಉಗಮ" ಎಂಬ ಲೇಖನವನ್ನು ನೋಡಿ). ಅನಿಲದ ಮೋಡದಲ್ಲಿ ಅಣುಗಳು ಢಿಕ್ಕಿ

ಬಾಕ್ಸ್ 2. ಪರಮಾಣುಗಳು ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿವೆಯೇ?

ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಸೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಕುರಿತ ಯಾವುದೇ ಚರ್ಚೆಯು ಪರಮಾಣುಗಳ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯಿಂದಲೇ ಆರಂಭವಾಗಬೇಕೆಂದು ನಾವು ನೋಡಿದ್ದೇವೆ. ಏಕೆಂದರೆ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಆದರೆ ಪರಮಾಣುಗಳು ನಿಜಕ್ಕೂ ಇವೆಯೇ? ಅಚ್ಚರಿಯೆಂದರೆ ಪರಮಾಣುಗಳ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಂಡಿಸಿದ ನಂತರ ಎಷ್ಟೋ ಕಾಲದವರೆಗೂ (ಆಧುನಿಕ ರಸಾಯನಶಾಸ್ತ್ರದ ಹುಟ್ಟಿನ ನಂತರವೂ)ಯಾರಿಗೂ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಯಾವುದೇ ವಿಧದಲ್ಲಿಯೂ ಪ್ರತ್ಯಕ್ಷವಾಗಿ ನೋಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ. ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಕಳೆದ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯಭಾಗದಿಂದ ಮಾತ್ರ ನಾವು ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಕಾಣುವ ಸ್ಥಿತಿಯ ಹತ್ತಿರಕ್ಕೆ ತಲುಪಿದ್ದೇವೆ. (ಪರಮಾಣುಗಳ ಇತಿಹಾಸ ಮತ್ತು ಅವುಗಳನ್ನು ಹೇಗೆ ನೋಡುವುದು ಮತ್ತು ಹೇಗೆ ನಿಯಂತ್ರಿಸಬಹುದು ಎಂಬುದರ ನಿಚ್ಚಳ ಜ್ಞಾನಕ್ಕಾಗಿ https://www.youtube.com / watch?v=ipznGRfsfE ಎಂಬುದನ್ನು ನೋಡಿ.)

ಇಷ್ಟೆಲ್ಲಾ ಆದರೂ ಪರಮಾಣುಗಳ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಿನದು.ಪ್ರೊ. ಫೇನ್‌ಮನ್ ಹೀಗೆ ಬರೆದರು: *"ಒಂದು ವೇಳೆ ಪ್ರಳಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲಾ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಜ್ಞಾನವು ನಷ್ಟವಾದಲ್ಲಿ ಹಾಗೂ ಒಂದೇ ಒಂದು ವಾಕ್ಯ ಮಾತ್ರ ಮುಂದಿನ ಪೀಳಿಗೆಗೆ ತಲುಪಿದಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪದಗಳ ಮತ್ತು ಅತ್ಯಧಿಕ ಮಾಹಿತಿಯುಳ್ಳ ಆ ಹೇಳಿಕೆ ಯಾವುದಿರಬಹುದು? ನನ್ನ ಪ್ರಕಾರ ಅದು **ಪರಮಾಣು ಆಧಾರ ಕಲ್ಪನೆಯ** (ಅಥವಾ ಪರಮಾಣು ಎಂಬ **ವಾಸ್ತವಾಂಶ** ಅಥವಾ ಅದನ್ನು ನಿಮ್ಮಿಷ್ಟದಂತೆ ಹೇಗಾದರು ಕರೆಯಿರಿ) **ಅಂದರೆ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳು ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಪರಮಾಣುಗಳೆಂದರೆ ಸುತ್ತಲೂ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿದ್ದಾಗ ಆಕರ್ಷಿಸುತ್ತಾ ಆದರೆ ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳುವಷ್ಟು ಹತ್ತಿರ ಬಂದಾಗ ಪರಸ್ಪರ ವಿಕರ್ಷಿಸುತ್ತಾ ಇರುವ ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳು.** ಈ ಒಂದು ವಾಕ್ಯವು ಸ್ವಲ್ಪ ಚಿಂತನೆ ಮತ್ತು ಕಲ್ಪನೆಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ ವಿಶ್ವದ ಬಗೆಗೆ **ಅಗಾಧ** ಮಾಹಿತಿಯನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದೆ ಎಂಬುದು ತಿಳಿಯುತ್ತದೆ."*



ಚಿತ್ರ 5. ಪರಾಗರೇಣುವಿನ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ಚಲನೆಯು ನೀರಿನ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬ್ರೌನೀಯ ಚಲನೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿದೆ.

ಪ್ರಯೋಗ: ಬ್ರೌನಿಯನ್ ಚಲನೆಯ ಮೂಲಕ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಅಪರೋಕ್ಷವಾಗಿ ನೋಡುವುದು

ಒಂದು ಹನಿ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹುಲ್ಲಿನ ಹೂವಿನ ಪರಾಗರೇಣುಗಳನ್ನು ಹಾಕಿ ಅದನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದಿಂದ ಗಮನಿಸಿ.ಪರಾಗರೇಣುಗಳ ಗಾತ್ರ ಸೂಕ್ತವಾಗಿದ್ದರೆ (ಅಧಿಕ ಭಾರವೂ ಅಲ್ಲ ತೀರ ಲಘುವೂ ಅಲ್ಲ) ಅವು ಸತ'ತವಾಗಿ ಸರಾಗವಾಗಿ ಚಲಿಸದೆ ಅಡ್ಡಾದಿಡ್ಡಿಯಾಗಿ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕವಾಗಿ ಚಲಿಸುವುದನ್ನು ನೋಡುವಿರಿ.ಈ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ಚಲನೆಗೆ ಬ್ರೌನಿಯನ್ ಚಲನೆ ಎನ್ನುವರು ಇದನ್ನು 1827ರಲ್ಲಿ ರಾಬರ್ಟ್ ಬ್ರೌನ್ ಎಂಬಾತ ಅನ್ವೇಷಿಸಿದ್ದರಿಂದ (ಆದರೆ ಇದನ್ನ ಆತನಿಗೆ ವಿವರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ) ಈ ಹೆಸರು.

1905 ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟವಾದ ಒಂದು ಸಂಶೋಧನಾ ಪ್ರಬಂಧದಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಈ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ಚಲನೆ ನಿಸ್ಸಂದಿಗ್ಧವಾಗಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವವನ್ನು ಪ್ರಮಾಣೀಕರಿಸುತ್ತದೆ ಎಂದು ತೋರಿಸಿದನು. 1921 ರಲ್ಲಿ ಈ ಅನ್ವೇಷಣೆಗೆ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ಗೆ ನೊಬೆಲ್ ಪುರಸ್ಕಾರ ದೊರೆತಿದ್ದರಿಂದ ಇದು ಅದೆಷ್ಟು ಮಹತ್ವವುಳ್ಳದ್ದು ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತ್ತು ಎಂದು ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ, ಪರಾಗರೇಣುಗಳ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ಚಲನೆಯು ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಒಂದು ಹನಿ ನೀರು ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಪ್ರಮಾಣೀಕರಿಸುತ್ತದೆ. ಇದು ಹೇಗೆ ಪ್ರಮಾಣೀಕರಿಸುತ್ತದೆ? ಒಂದು ಹನಿ ನೀರು ಸಾತತ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಲ್ಲಿ ನೀರು ಅತ್ತಿತ್ತ ತುಳುಕಿದಾಗ ತೂಗುತ್ತಿರುವ ಪರಾಗರೇಣುಗಳು ಪುಟಿದು ಬೇರೇ ಬೇರೆ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಸರಾಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದವು. ಆದರೆ ಅವುಗಳ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ಚಲನೆಯು ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪರಾಗರೇಣುವು ಯಾದೃಚ್ಛಿಕವಾಗಿ ಹೊಡೆಯಲ್ಪಡುತ್ತಿದೆ ಎನ್ನುವುದರ ದ್ಯೋತಕವಾಗಿದೆ. ನೀರು ಅತ್ತಿತ್ತ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಇಂತಹ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕ ಹೊಡೆತ ಸಾಧ್ಯ

ಮತ್ತೊಂದು ಪ್ರಯೋಗ ಆದರೆ ಇದು ಸ್ವಲ್ಪ ಕಷ್ಟಕರ. ಗಾಜಿನ ಕೋಶದಲ್ಲಿ ಹಿಡಿದಿಟ್ಟಿರುವ ಕೆಲವು ಹೊಗೆಯ ಕಣಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರಖರ ಬೆಳಕನ್ನು ಹರಿಸಿ. ಅದನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದಿಂದ ಗಮನಿಸಿ. ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಹೊಗೆಯ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಳ ಮಧ್ಯೆ ಆಗಾಗ ಉಜ್ವಲ ಬೆಳಕಿನ ಮಚ್ಚೆಯಂತೆ ಕಾಣುವ ಹೊಗೆಯ ಕಣಗಳನ್ನು ನಾವು ಗಮನಿಸಬಹುದು. ಇದು ಬ್ರೌನೀಯ ಚಲನೆಯಾಗಿದೆ.

ಬ್ರೌನೀಯ ಚಲನೆಯ ನಿಖರ ಚಲನ ಚಿತ್ರಕ್ಕಾಗಿ https:en. wikipedia.org/wiki/Brownian_ motion-ಇದನ್ನು ನೋಡಿ.

ಹೊಡೆಯಲು ಯಾವ ಗೋಡೆಗಳು ಇಲ್ಲವಾದರೂ, ಒತ್ತಡ, ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ತಾಪ– ಈ ಮೂರನ್ನೂ ಹೊಂದಿದ್ದು ಮೋಡವು ಸಂಪೀಡಿತಗೊಂಡಾಗ ಈ ಮೂರೂ ಬದಲಾಗುವುವು. (**ಬಾಕ್ಸ್ 3** ನೋಡಿ). ಹೀಗೆ ಈ ಪರಿಮಾಣಗಳು ಮೋಡದ ಎಲ್ಲೆಡೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದಿರಬಹುದು, ಇಲ್ಲದಿರಬಹುದು. ಆದರೆ ಅಧಿಕತರವಾಗಿ ಸಾಂದ್ರಗೊಂಡ ಮೋಡ ಖಂಡಿತವಾಗಿಯೂ ಹೆಚ್ಚಿದ ಆಂತರಿಕ ಒತ್ತಡ ಮತ್ತು ತಾಪವನ್ನು ಹೊಂದಿತ್ತು.

ಸಂಕೋಚನಗೊಳ್ಳಲು ಸಾಕಷ್ಟು ಅಂತರ್‌ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯನ್ನು ಮೋಡವು ಪಡೆದಾಗ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರ ಸಂಗತಿಗಳು

ಬಾಕ್ಸ್ 3. ಪ್ರಯೋಗ: ಅನಿಲದ ಹಿಂಡುವಿಕೆ

ಈ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ 20 ml ಸಿರಿಂಜ್ ನಿಮಗೆ ಬೇಕಾಗುವುದು. ಸೂಜಿ ಜೋಡಣೆಯಾಗುವ ರಂಧ್ರವನ್ನು ಅರಾಲ್ಡೈಟ್‌ನಿಂದ ಮುಚ್ಚಿರಿ. ಈ ರಂಧ್ರವನ್ನು ಮುಚ್ಚುವುದಕ್ಕೆ ಮೊದಲು ಪಿಸ್ಟನ್‌ಅನ್ನು ಸಿರಿಂಜ್ ಒಳಗೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಗಾಳಿ ತುಂಬಿಕೊಳ್ಳುವಷ್ಟು ಮೇಲಕ್ಕೆ ಎಳೆಯಿರಿ. ಅರಾಲ್ಡೈಟ್ ಒಣಗಿದ ತರುವಾಯ,ಪಿಸ್ಟನ್ನನ್ನು ಎಷ್ಟು ಸಾಧ್ಯವೋ ಅಷ್ಟು ಅದುಮಿರಿ. ಹಾಗೆಯೇ ಆಗಏನಾಗುವುದು ಎನ್ನುವುದನ್ನು ಗಮನಿಸಿ. ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ, ಗಾಳಿಯು ಹಿಂದಕ್ಕೆ ತಳ್ಳಿದಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ ಅಲ್ಲವೇ. ಇದು ಹೇಗೆ ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು?

ಇಲ್ಲಿ ಏನಾಗುತ್ತಿದೆ ಎಂದರೆ ಗಾಳಿಯ ಅಣುಗಳು ಸಿರಿಂಜಿನ ಗೋಡೆಗಳಿಗೆ ಬಡಿಯುತ್ತಿವೆ. ಹಾಗಾಗಿ, ಸಿರಿಂಜಿನ ಗಾತ್ರವು ಕಡಿಮೆಯಾದಂತೆ ಹೊಡೆತದ ಆವರ್ತನೆಯು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಪಿಸ್ಟನ್ನಿನ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿಯೂ ನೀವು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದ ಒತ್ತಡ ಮತ್ತು ಗಾಳಿಯು ಒಡ್ಡಿದ ಒತ್ತಡವು ಸಮನಾಗಿರುತ್ತದೆ. ನೀವು ಒತ್ತಡವನ್ನು ಸಡಿಲಿಸಿದರೆ ಪಿಸ್ಟನ್ ತನ್ನ ಮೊದಲಿನ ಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ಬರುವುದು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಬೈಸಿಕಲ್ ಪಂಪ್‌ನಂಥ ದೊಡ್ಡ ಪಿಸ್ಟನ್–ಸಿಲಿಂಡರ್ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಬಳಸಿ ಕೈಗೊಂಡರೆ ಪಂಪಿನ ಒಳಗಿರುವ ಗಾಳಿಯು ನಿಶ್ಚಿತವಾಗಿಯೂ ಬಿಸಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಅದರ ತಾಪ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ.

ಬಾಕ್ಸ್ 4. ತರ್ಕದ ವಿಸ್ತಾರ: ಮೋಡದೊಳಗಿನ ಚಾಲಕಬಲಗಳು

ಸಾಂದ್ರಗೊಳ್ಳುತ್ತಿರುವ ಅನಿಲ ಮೋಡದೊಳಗೆ ಆಗಬಹುದಾದ ಘಟನೆಗಳು ಯಾವುವು? ಈ ಕೆಳಗೆ ನಾನು ಇದನ್ನು ಕುರಿತ ನನ್ನ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವನ್ನು ಪಟ್ಟಿ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದೇನೆ. ನೀವು ಈ ಪಟ್ಟಿಗೆ ನಿಮ್ಮದೇ ಆದ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸಬಹುದು

- ಅನಿಲದ ಒಂದು ಮೋಡ ಸಾಂದ್ರಗೊಂಡಾಗ ಅದೇಕೆ ಬಿಸಿಯಾಗುತ್ತದೆ? ಆದರ್ಶ ಅನಿಲಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಪ್ರಮಾಣಕ ಅನಿಲದ ನಿಯಮಗಳು ($PV = nRT$ ಇತ್ಯಾದಿ) ಇಲ್ಲಿಯ ಸಂಕೋಚನಕ್ಕೂ ಬಹುತೇಕ ಅನ್ವಯವಾಗುವುದು ಎಂಬುದನ್ನು ನಾವು ನೆನಪಿನಲ್ಲಿಡಬೇಕು
- ಗಾಳಿಯು ಬಿಸಿಯಾದಂತೆ ಈ ಸಂಕೋಚನಕ್ಕೆ ಏನಾಗುವುದು?
- ಆಂತರಿಕ ಗುರುತ್ವದಿಂದ ಸಾಂದ್ರೀಕರಣವಾಗಬೇಕಾದರೆ ಎಷ್ಟು ಪರಿಮಾಣದ ಅನಿಲವು ಅಗತ್ಯ?
- ಅನಿಲವು ಸಾಂದ್ರಗೊಂಡಂತೆ ಅನಿಲದ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿನ ತಾಪವು ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದೇ?

ಮೊದಲನೆಯ ಮತ್ತು ಎರಡನೆಯ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಹೇಳುವುದಾದರೆ ಅನಿಲವು ಬಿಸಿಯಾಗಲು ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ ಇದರ ಅಣುಗಳು ಅಲ್ಪತರ ಜಾಗದ ಮಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಪಿಸ್ಟನ್ನನ್ನು ಒತ್ತಿ ಗಾಳಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆ ಹೋಗಲು ಬಿಡದ ಬೈಸಿಕಲ್ ಪಂಪ್‌ನಂತೆ ಇದು. ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ, ಅನಿಲದ ಸಂಕೋಚನವು ಅದರ ತಾಪವು ಒಂದು ಬಿಂದುವನ್ನು ತಲುಪಿದ ನಂತರ ನಿಂತುಹೋಗುವುದು.ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ಗಾಳಿಯ ಸುತ್ತ ಇರುವ ಗೋಡೆಗಳು. ಇದಕ್ಕೆ ವಿರುದ್ಧವಾಗಿ ಬೃಹತ್ ಅನಿಲದ ಮೋಡಗಳಲ್ಲಿ ಅವುಗಳ ಸಂಕೋಚನದಿಂದ ಶಾಖವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗಿ ಆ ಶಾಖವೇ ಮತ್ತಷ್ಟು ಸಂಕೋಚನವು ಆಗದಂತೆ ತಡೆಯುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಈ ಕಾವಿನ ಏರಿಕೆಯು ಅನಿಲ ಮೋಡದೊಳಗಿನ ಶಾಖವು ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಹೊರಸೂಸುವಂತೆ ನೋಡಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದಾಗಿ ಅನಿಲವು ತಣ್ಣಗಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಸಾಕಷ್ಟು ತಣ್ಣಗಾದ ಮೇಲೆ ಸಂಕೋಚನ ಮತ್ತು ಪರಸ್ಪರ ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳುವಿಕೆ ಪುನಃ ತೀವ್ರತರವಾಗಿ ಆರಂಭವಾಗಿ ಮೋಡವು ಸಣ್ಣ ಗಾತ್ರದಾಗುತ್ತದೆ. **ಇದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ರನ್‌ಅವೇ ಪರಿಣಾಮವೇ–ಈ ಘಟನೆಗಳ ಆವರ್ತನವು ಕೊನೆಯಿಲ್ಲದೆ ಮುಂದುವರೆದು ಮೋಡದೊಳಗೆ ಭೌತದ್ರವ್ಯವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾದಾಗ ಮಾತ್ರ ನಿಂತುಹೋಗುತ್ತದೆ.**

ಮೂರನೇ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಹಲವಾರು ಉತ್ತರಗಳಿವೆ. ಅದರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಉತ್ತರವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೇಗೆ ರೂಪುಗೊಂಡವು ಎನ್ನುವುದರ ಬಗೆಗೆ ಮಾಹಿತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸುತ್ತದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪರಮಾಣುಗಳು ಪರಸ್ಪರ ತೀರಾ ಹತ್ತಿರಕ್ಕೆ ಬರಲಾರವು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಘನವಸ್ತು, ದ್ರವ ಮತ್ತು ಅನಿಲಗಳ ಹಿಂಡುವಿಕೆಯು ಒಂದು ಮಟ್ಟ ತಲುಪಿದ ನಂತರ ಅಧಿಕಾಧಿಕವಾಗಿ ಕಷ್ಟಕರವಾಗುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಅನಿಲವು **ತನ್ನ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯಿಂದಲೇ** ಸಾಂದ್ರಗೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ ಅದರ ಪ್ರಮಾಣ ಅಪಾರವಾಗಿರಬೇಕು. ಇಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ ವಿಶ್ವದಲ್ಲೇ ಅಲ್ಪತಮ ಬಲ ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಅಥವಾ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಒಂದರ ಮೇಲೊಂದು ಇಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದು ಎಂಬ **ಪೌಲಿಯ ಬಹಿಷ್ಕರಣ ತತ್ವಕ್ಕೆ** ಅನುಗುಣವಾಗಿ (Pauli's Exclusion Principle) ಒಂದು ಮೋಡದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ 4×10^{32} ಗ್ರಾಂಗಳಿಗಿಂತ ಅಧಿಕವಾಗಿದ್ದರಷ್ಟೇ ಅದನ್ನು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣಾತ್ಮಕವಾಗಿ ಸಂಪೀಡಿತಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಹೀಗೆ ಅನಿಲಮೋಡಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯು ಅಧಿಕವಾಗಿದ್ದಷ್ಟೂ ಇದರಿಂದ ರಚಿತಗೊಂಡ ತಾರೆಯ ಶಾಖ ಅಷ್ಟೇ ಅಧಿಕತರವಾಗಿರುವುದು. ನಮ್ಮ ದಾಖಲೆಗಳಿಗೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿ ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ 2×10^{33} ಗ್ರಾಂಗಳಷ್ಟಿದ್ದು ಸಾಂದ್ರೀಕರಣಗೊಳ್ಳಲು ಅಗತ್ಯವಾದ ಕನಿಷ್ಠ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಿಂತ ಇದು ನಿಸ್ಸಂಶಯವಾಗಿ ಅಧಿಕವಾಗಿದೆ.

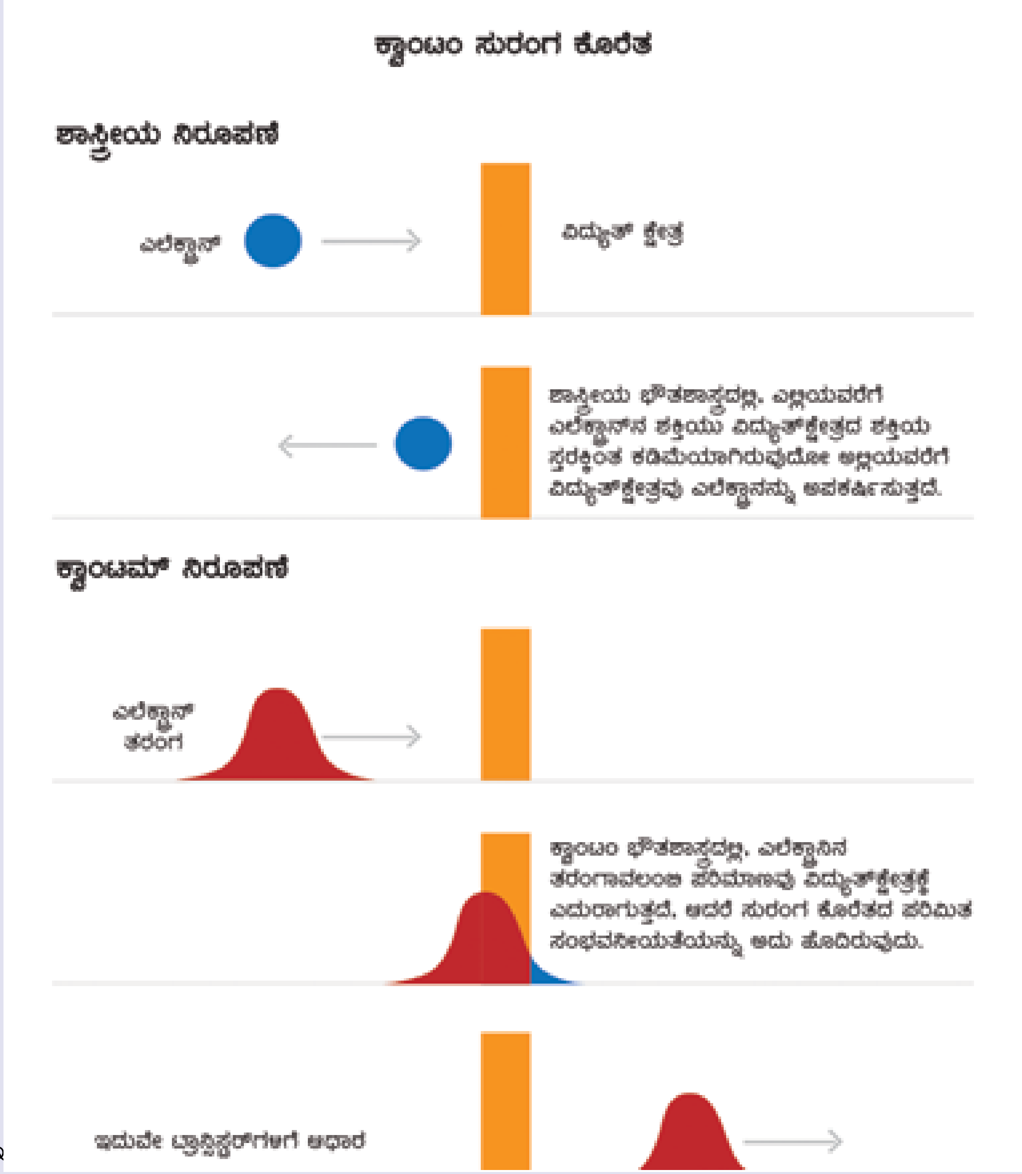
ಕೊನೆಯ ಪ್ರಶ್ನೆಯ ಉತ್ತರ ಹೀಗಿದೆ– ಅನಿಲ ಮೋಡದ ತಿರುಳಿನ ತಾಪವು ಹೆಚ್ಚಳಗೊಳ್ಳುವುದು ಹಾಗೂ ಇದರ ಮೌಲ್ಯ ಮೋಡದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದು. ಇದು ಸಮಂಜಸವಾಗಿಯೇ ಇದೆ.ಏಕೆಂದರೆ, ಅಧಿಕತರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಮೋಡದ ಸಂಕೋಚನ ಅಧಿಕತರ ವೇಗವುಳ್ಳದ್ದಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅನಿಲವು ಅಧಿಕ ತಾಪವುಳ್ಳದ್ದಾಗಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಪ್ರಥಮ, ದ್ವಿತೀಯ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳ ಉತ್ತರಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಾಗ ಅನಿಲಮೋಡದ ತಿರುಳಿನ ತಾಪ ಕ್ರಮಶಃ ಅಧಿಕಗೊಳ್ಳಲೇಬೇಕು ಎಂದು ನಾವು ತರ್ಕಿಸಬಹುದು. ಎಷ್ಟು ತಾಪವನ್ನು ತಲುಪಬಲ್ಲದು? ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ, ಕೆಲವು ದಶಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಂಟಿಗ್ರೇಡ್ ತಲುಪಿದಾಕ್ಷಣ **ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆ ಮೊದಲ್ಗೊಳ್ಳುವುದು.** ಅಂದರೆ ಪ್ರೋಟಾನಿನ ಶಕ್ತಿಯು ಧನಾವೇಶಿತ ಪ್ರೊಟಾನುಗಳ ನಡುವಣ ಅಪಕರ್ಷಕಾತ್ಮಕ (repulsive) ಬಲವನ್ನು ಕ್ರಮಕ್ರಮವಾಗಿ ಮೀರುವುದು. ನಂತರ, ಅಂದರೆ ನಾವು ಮುಂದೆ ನೋಡುವಂತೆ ಅನಿಲಮೋಡದ ಆಂತರಿಕ ತಾಪವು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ವರ್ಧಿಸಬಲ್ಲದು.

ಬಾಕ್ಸ್ 5. ರಹಸ್ಯಮಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಮತ್ತು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ

ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಎಂದರೇನು? ಸರಳವಾಗಿ ವಿವರಿಸುವುದಾದರೆ, ಪರಿಮಿತ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಇರುವಿಕೆಯ (states of existence)ಗಳುಳ್ಳ ಒಂದು ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ನೀವು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಇದನ್ನ ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಛೇದಿಸಲ್ಪಡುವ (ಕಣಗಳು ಸಾಕಷ್ಟು ಚಲನಬಲಯುತವಾಗಿದ್ದಲ್ಲಿ) ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯ ಒಳಗಿರುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳಿ. ಈಗ ಈ ಕಣಗಳ ಸ್ಥಿತಿಗಳು ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯ ಒಳಗೆ ಎಲ್ಲಿ ಬೇಕಾದರೂ ಇರಬಹುದು ಮತ್ತು ಹೊರಗೆ ಇರುವ ಕಣಗಳ ಸ್ಥಿತಿಯಂತೆಯೂ ಇರಬಹುದು. ಪೆಟ್ಟಿಗೆ ಮಧ್ಯದ ಒಂದು ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಕೊಟ್ಟ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಕಣವು ಇದ್ದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರಬಹುದು. – ಇದನ್ನು ಕಣದ ಒಂದು "ಸ್ಥಿತಿ" ಎನ್ನುವರು. ಈ ಕಣದ ವೇಗದಲ್ಲಿಯೇ ಆದರೆ ಬೇರೆ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯಿಂದ 10 ಸೆಂ.ಮೀ. ದೂರವಿರುವ ಕಣದ 'ಸ್ಥಿತಿ' ಗಿಂತ ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಒಳಗಣ ಕಣದ ಸ್ಥಿತಿ ಬೇರೆ ಆಗಿದೆ ಎನ್ನುವೆವು. ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿಯೇ, ವೇಗ ಮತ್ತು ದಿಕ್ಕು ಬದಲಾದಂತೆ ಕಣದ "ಸ್ಥಿತಿ"ಯೂ ಬದಲಿಸುವುದು.

ಈ ಎಲ್ಲ "ಸ್ಥಿತಿಗಳು" ಒಂದು ಸಂಭವನೀಯತೆ ಯೊಂದಿಗೆ ಉಂಟಾಗಬಲ್ಲದೆಂದು ಚಿಂತಿಸಿ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಅಥವಾ ಕಣವು ಒಂದು "ಸ್ಥಿತಿ"ಯಲ್ಲಿರದೆ ತಾನಿರಬಹುದಾದ ಎಲ್ಲಾ ಸಂಭಾವ್ಯ ಸ್ಥಿತಿಗಳ ಮಿಶ್ರಣ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಇರಬಲ್ಲದು ಎಂಬ "ಸ್ಥಿತಿಗಳ ಅಧ್ಯಾರೋಪಣ" ವನ್ನು (Superimposition of states) ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ನಿಮಗೆ ಸಾಧ್ಯವಾದರೆ (ಇದು ಹೇಗೆ ಮಿಶ್ರಣಗೊಳ್ಳುವುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಗಣಿತೀಯ ನಿಯಮಗಳಿಂದ ನಿಶ್ಚಯಿಸಬಹುದೇ ಹೊರತು ಸಾಮಾನ್ಯ ಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ ಸುಲಭವಾಗಿ ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸಲಾರೆವು) ಆಗ ಅದು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತೀಯ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಎಂದು ತಿಳಿಯಿರಿ. ಕಡೆಯ ಮತ್ತೊಂದು ಅಂಶವೆಂದರೆ ನಾವು ಮಾಪನ ಕೈಗೊಂಡಾಗ ಕಣ ಅಥವಾ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಇರಬಲ್ಲದು. ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯೊಳಗಣ ಕಣವು ಪೆಟ್ಟಿಗೆ ಒಳಗೆ ಯಾವುದಾರೂ ಅಥವಾ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯ ಹೊರಗೆ ಯಾವುದಾದರೂ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ತಾನು ಇರಬಲ್ಲದು.

ಈಗ ಬರುವುದು ಅಚ್ಚರಿಯ ಸಂಗತಿ. ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯನ್ನು ಛೇದಿಸಲು ಬೇಕಾದ್ದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಿಮೆ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಕಣದಿಂದ ನಾನು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿದರೂ ಸಹ ಅದು ಹೊರಗೆ ಜಿಗಿದು ಹೋಗುವ ಅಲ್ಪ ಸಂಭವನೀಯತೆ ಉಂಟು. ಬೇರೆ ಶಬ್ದಗಳಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಇಷ್ಟಾದರೂ ಅದು ಕೊರೆದುಕೊಂಡು ಹೊರಹೋಗಬಲ್ಲದು". "ಸ್ಥಿತಿಗಳ ಅಧ್ಯಾರೋಪಣ" ವನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸುವ ನಿಯಮಗಳು ಹೇಗೋ ಈ ಸಾಧ್ಯತೆಗೆ ಅವಕಾಶವನ್ನೀಯುವುವು. ಹಾಗೆಯೇ, ಆಗೊಮ್ಮೆ ಈಗೊಮ್ಮೆ ಕಣವು ಹೀಗೆ ವರ್ತಿಸುವುದುಂಟು. ಇದನ್ನು ವಿವಿಧ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಾತ್ಮಕವಾಗಿ ಗಮನಿಸಲಾಗಿದ್ದು ಇದು ಒಂದು ಸಾಟಿಯಿಲ್ಲದ ಕ್ವಾಂಟಂ ವಿದ್ಯಮಾನವಾಗಿದೆ (Quantum Phenomenon). ಈ ಪರಿಣಾಮಕ್ಕೆ ಶಾಸ್ತ್ರೀಯವಾದ ಸಾದೃಶ್ಯವಿಲ್ಲ.



ಚಿತ್ರ 6. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ
Credits: Dr. James Shombert, University of Oregon.

1929ರಲ್ಲಿ ಜಾರ್ಜ್‌ಗಾಮೊ (1904–1968), ರೊನಾಲ್ಡ್ ಗುರ್ನಿ (1898–1953) – ಇವರುಗಳು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತದ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಹಲವಾರು ಜ್ಞಾನಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಅದರಲ್ಲೂ, ಖಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ ವಿದ್ಯಮಾನದ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆಯ ಮಹತ್ವ ಎಷ್ಟರಮಟ್ಟಿಗೆ ಇದೆ ಎಂದು ಹೇಳುವುದು ಕಷ್ಟ. ಈ ಒಂದು ಅನ್ವೇಷಣೆ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಖಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಪೂರ್ಣ ಶಾಖೆಯನ್ನೇ ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿತು. ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿ ಜೀವಿಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವಕ್ಕೆ ಆವಶ್ಯಕವಾದ ಸಂಗತಿಗಳಲ್ಲಿ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ ವಿದ್ಯಮಾನವು ಒಂದಾಗಿದೆ. ನಕ್ಷತ್ರದಲ್ಲಿ ಇದರ ಬಿಡುಗಡೆಗೆ ಅಗತ್ಯವಾದ ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ದೀರ್ಘಕಾಲಾವಧಿಯನ್ನು ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವು ಒದಗಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರ ಅನ್ವೇಷಣೆಗೆ ಹಲವಾರು ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುವುದು ಹೇಗೆ ಎಂದು ವಿವರಿಸಿದ ಕಂಡನ್ ನಕ್ಷತ್ರೀಯ ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲ ಮತ್ತು ಅದರ ದೀರ್ಘ ಜೀವಿತಾವಧಿಗೆ ಕಾರಣ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಿರ್ಮೂಲನವೇ ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದ್ದ. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಸೂರ್ಯನಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರದಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಿರ್ಮೂಲನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವುದಾದರೂ ಏಕೆ ಎಂಬುದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಯಾವ ಆಧಾರವೂ ಸಿಗಲಿಲ್ಲ. ಉತ್ಪಾದಿತ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಮಾಣ ಮತ್ತು ಅದು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರ – ಇವೆರಡಕ್ಕೂ "ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ" ಉತ್ತಮ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಒದಗಿಸುವುದು.ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ಸ್ ಉದ್ಯಮದ ಅಕ್ಷರಶಃ ಬೆನ್ನೆಲುಬಾದ ಡೈಯೊಡ್ ಮತ್ತು ಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್‌ನಂಥ ಘನಸ್ಥಿತಿ ಉಪಕರಣಗಳ (Solid State Devices) ಕಾರ್ಯವಿಧಾನದ ಹಿಂದಿರುವುದೂ ಸಹ ಈ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತದ ಪರಿಣಾಮವೇ ಆಗಿದೆ.

ಸಂಭವಿಸುವುವು. (**ಬಾಕ್ಸ್ 4** ನೋಡಿ). ನಾವು ಅಪಾರ ಪ್ರಮಾಣದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಅನಿಲ ಮೋಡದ ಬಗೆಗೆ ಚಿಂತಿಸುತ್ತಿದ್ದೇವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿರಿಸಿ. ಇದು ಸಾಂದ್ರೀಕರಣಗೊಂಡು ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯರ್ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಚೋದಿಸಿ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವನ್ನು ರೂಪುಗೊಳಿಸುವಷ್ಟು ದೊಡ್ಡದಾಗಿರುವುದು. ಈ ಮೋಡಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಬಹಳ ಸಣ್ಣ ಗಾತ್ರವುಳ್ಳವುಗಳಾಗಿದ್ದು ಸಾಕಷ್ಟು ಗುರುತ್ವ ವಿಭವಶಕ್ತಿ ಹೊಂದಿರದ ಕಾರಣ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಬಿಂದುವನ್ನು ತಲುಪಿದಾಕ್ಷಣ ಅವುಗಳ ಸಾಂದ್ರೀಕರಣ ನಿಂತುಹೋಗುವುದು. ಆದರೆ ಈ ಮೋಡಗಳ ಬಗೆಗೆ ನಾವು ಇಲ್ಲಿ ಚರ್ಚಿಸುವುದಿಲ್ಲ.

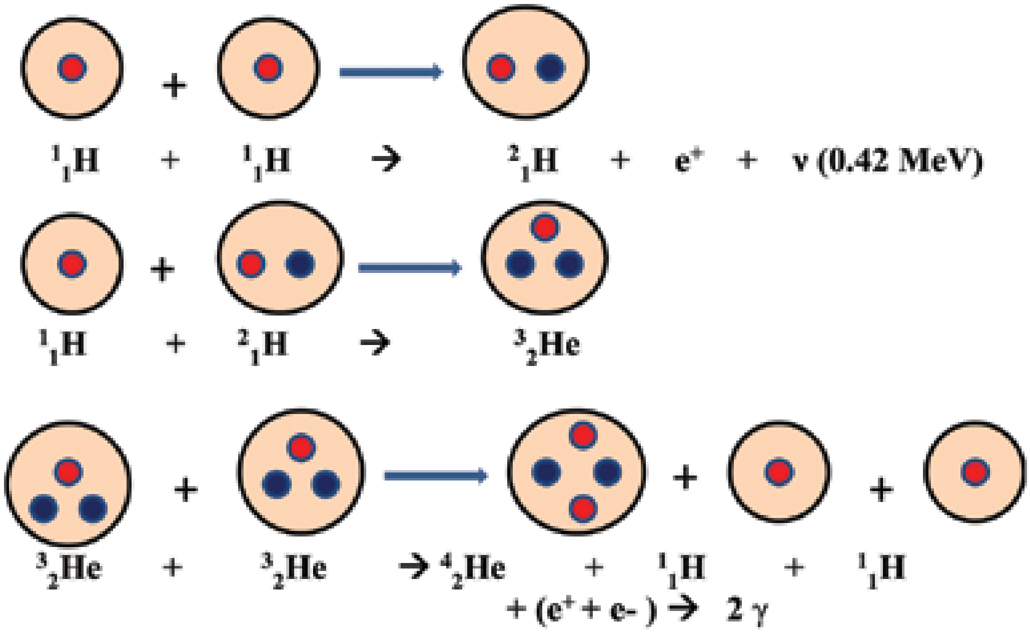
ಸಂಕೋಚನಗೊಳ್ಳುತ್ತಿರುವ ಅನಿಲದ ಮೋಡದ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ತಾಪವು ಕೆಲವು ಮಿಲಿಯನ್ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಂಟಿಗ್ರೇಡ್ ತಲುಪಿದಾಗ ಅದರ ಪರಮಾಣುಗಳು ತಮ್ಮ ಅಸ್ತಿತ್ವವನ್ನೇ ಕಳೆದುಕೊಂಡು ಗಟ್ಟಿ 'ಸೂಪ್'ನಂತಿರುವ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುವುವು. ಈ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಢಿಕ್ಕಿ ಹೊಡೆದಾಗ ಅವು ತಮ್ಮ ಪ್ರಬಲ ಸ್ಥಾಯೀ ವಿದ್ಯುದೀಯ ಅಪಕರ್ಷಣ (Electro static repulsion (ಎರಡೂ ಧನಾವೇಶಿತಗೊಂಡವುಗಳು)ವನ್ನು ಮೀರಲು ಸಮರ್ಥವಾಗಿ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯರ್ ಆಕರ್ಷಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಬೀರುವಷ್ಟು ಸಮೀಪಕ್ಕೆ ಬರುತ್ತವೆ. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ (ಕ್ವಾಂಟಂ ಟನಲಿಂಗ್) ಎಂದು ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ಘಟನೆಯಿಂದ ಇದು ಸಂಭವಿಸುವುದು. ಈ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತವು ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳನ್ನು ಅವು ಅಲ್ಪ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಸಂಯೋಜನೆಗೊಳ್ಳುವಷ್ಟು ಸಮೀಪಕ್ಕೆ ತರುವುದು. ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳನ್ನು ಅವು ಸಂಯೋಜನೆಗೊಳ್ಳುವಷ್ಟು ಸಮೀಪಕ್ಕೆ ತರಲು ಯಥಾರ್ಥವಾಗಿ ಅಗತ್ಯವುಳ್ಳ ಉಷ್ಣತೆಗಿಂತ ತಾರೆಯೊಂದರ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಕಂಡುಬರುವ ಕೆಲವು ಮಿಲಿಯನ್ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಂಟಿಗ್ರೇಡ್ ಉಷ್ಣತೆಯು ಸುಮಾರು **1000 ಪಟ್ಟು ಕಡಿಮೆಯಿರುವುದು**. ಈ ವಿಷಯವು 1920ರ ದಶಕದಲ್ಲೇ ಬೆಳಕಿಗೆ ಬಂದಿತು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರಕ್ಕೆ ಮುನ್ನವೇ ಈ ವಿಷಯವು ತಿಳಿದು ಬಂದದ್ದು (1932ರಲ್ಲಿ) ಇನ್ನೂ ಕುತೂಹಲಕಾರಿಯೇ. ಆ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪರಮಾಣು ತೂಕವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ (ಫ್ಯೂಶನ್) ಉಂಟಾಗಿರುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆ ಎಂಬ ವಿಚಾರ ಬರಿಯ ಊಹೆಯಾಗಿದ್ದು ಅದು ಹೇಗೆ ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದು ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ಸೂಕ್ತ ಆಧಾರಗಳಿರಲಿಲ್ಲ. ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸುರಂಗ ಕೊರೆತ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಪರಸ್ಪರ ಯಾಂತ್ರಿಕವಾಗಿ ಕೊರೆಯುವಷ್ಟು ಹತ್ತಿರ ಬಂದಾಗ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಶಕ್ತಿಗಳು, ಅಂದರೆ ಪ್ರಬಲ ಮತ್ತು ನಿರ್ಬಲ ಶಕ್ತಿಗಳು, ಉಂಟಾಗಿ ಇಡೀ ಸನ್ನಿವೇಶವೇ ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ.ಈಗ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳಬಲ್ಲವು: ಇತರ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಬೃಹತ್ತರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ರೂಪುಗೊಳಿಸಲು ಇದರೊಡನೆ ಸೇರಿಕೊಳ್ಳಬಲ್ಲವು, ಇದು ಹೀಗೆ ಮುಂದುವರೆಯಬಹುದು. ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯರ್ ಬಲಗಳಿಂದ ಹೊರಹೊಮ್ಮಿದ ಶಕ್ತಿಯು ಇದುವರೆಗೆ ಬಿಡುಗಡೆಗೊಂಡ ಉಷ್ಣವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಅಳೆಯಲಾರದಷ್ಟು ಪಟ್ಟು ಮಿಗಿಲಾಗಿರುವುದು. ನಕ್ಷತ್ರವೊಂದು ಈಗ ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಜನ್ಮ ತಳೆದು ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಸಮ್ಮಿಳನದಿಂದ ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪಾದಿಸುವುದು. ಇದರಿಂದ ಇದರ ಸಂಕೋಚನವು ನಿಧಾನಗೊಂಡು ನಕ್ಷತ್ರವು ಶಾಖವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಆರಂಭಿಸುತ್ತದೆಯಲ್ಲದೆ ಅದನ್ನು ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಹೊರಸೂಸುತ್ತದೆ. ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ ಎಂಬೀ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಕ್ಷತ್ರವು ದೀರ್ಘಾವಧಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವಂತೆ ನೋಡಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ.

ನಕ್ಷತ್ರದೊಳಗಣ ತಾಪವು ಸಾಕಷ್ಟು ಕಡಿಮೆಯಿರುವುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಗ್ರಹಗಳ ಮತ್ತು ಜೀವಿಗಳ ವಿಕಸನಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಕಾಲಾವಧಿಯವರೆಗೆ ಶಕ್ತಿಸರಬರಾಜು ಮಾಡುವಷ್ಟು ನಿಧಾನಗತಿಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯಲು ಈ ಅಲ್ಪತಾಪವು ಸಹಕಾರಿಯಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ತಾರೆಗಳ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿ ತಾಪವು ಅಧಿಕತರವಾಗಿದ್ದರೆ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ವೇಗವಾಗಿ ನಡೆದಿರುತ್ತಿದ್ದು ಆಗ ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪಾದನೆಯು ಅಧಿಕತರವಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಜೀವಿತಕಾಲಗಳು ಅಲ್ಪವಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತಿದ್ದವು.

ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಸೃಷ್ಟಿ.

ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಸೃಷ್ಟಿಯ ವಿವರಗಳತ್ತ ಗಮನಹರಿಸುವ ಮುನ್ನ ಈ ಹಂತದಿಂದ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಬಳಸಲಾಗುವ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳ ಸಂಕೇತದತ್ತ ಶೀಘ್ರ ನೋಟವನ್ನು ಬೀರೋಣ.

S ಅಂದರೆ ಪರಮಾಣು A ಅಂದರೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ, (ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನಲ್ಲಿರುವ



ಚಿತ್ರ 7. ಪ್ರೋಟಾನ್–ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸರಣಿ ಕ್ರಿಯೆ (ಅಥವಾ p-p ಸರಣಿ)

Credits: Nagendra Nath Mondal, Wikimedia Commons. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:H-2_atom.png. License: CC-BY.

ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ), Z ಅಂದರೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ (ಪ್ರೊಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಮೊತ್ತ) – ಈ ಮೂರು ಮಾಹಿತಿಯನ್ನು $^Z_A S$ ಎಂಬೀ ಸಂಕೇತದಿಂದ ಸೂಚಿಸುತ್ತೇವೆ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ತೊಡಕಾಗುವ ಸಂಭವವಿರುವುದರಿಂದ ಸೌಕರ್ಯವಿದ್ದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಕೈಬಿಟ್ಟು ಕೇವಲ $^Z S$ ಎಂಬ ಸಂಕೇತವನ್ನು ಬಳಸುತ್ತೇವೆ. ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕ (ಪೀರಿಯಾಡಿಕ್ ಟೇಬಲ್) ನಿಮಗೆ ಎಟುಕುವಂತಿದ್ದಲ್ಲಿ ಹಾಗೂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸಂಕೇತ ಗೊತ್ತಿದ್ದಲ್ಲಿ ನೀವು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಲ್ಲಿರಿ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, Be ಎಂದರೆ ಬೆರಿಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ಪರಮಾಣು. ಇದರ ಪರಮಾಣು ರಾಶಿ 8 ಇದರ (ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 4).

ನಕ್ಷತ್ರದೊಳಗೆ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಘಟನೆಗಳನ್ನು ಪುನರಾವಲೋಕಿಸಿದಾಗ ಜಲಜನಕದಿಂದ ಹೀಲಿಯಂ ಅನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಎರಡು ಮೂಲಕ್ರಿಯೆಗಳು ಕಂಡುಬರುವುವು. ಮೊದಲನೆಯದು ಪ್ರೋಟಾನ್–ಪ್ರೋಟಾನ್ ಎಂಬ ಸರಣಿಕ್ರಿಯೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆ ಸಾಧಾರಣ ನಕ್ಷತ್ರವೊಂದರಲ್ಲಿ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವ 94% ಶಕ್ತಿಗೆ ಕಾರಣವಾಗಿದೆ (ನೋಡಿ **ಚಿತ್ರ** 7).

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ, H ಎಂದರೆ ಜಲಜನಕದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್. ಇದು ಕೇವಲ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನು. ^2H ಎಂದರೆ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಪರಸ್ಪರ ಬಂಧಗೊಂಡು ಉಂಟಾಗಿರುವ ಡ್ಯುಟರಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್. **e^+** ಅಂದರೆ ಪೊಸಿಟ್ರಾನ್ (1932 ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದದ್ದು) ಅಥವಾ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನ ಪ್ರತಿಕಣ (ಆಂಟಿ ಪಾರ್ಟಿಕಲ್), ν_e ಅಂದರೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೊ (1930ರಲ್ಲಿ ಇದರ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಸಮರ್ಥನೆ ಮತ್ತು 1956ರಲ್ಲಿ ಇದರ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಆವಿಷ್ಕಾರ), **^3He** ಎಂಬುದು ಎರಡು ಪ್ರೋಟನುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ಐಸೋಟೋಪ್, **^4He** ಅಂದರೆ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರಮಾಣಕ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ (ಸ್ಟಾಂಡರ್ಡ್ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್), ಹಾಗೂ γ ಅಂದರೆ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿ.

ವಾಸ್ತವವಾಗಿ pp ಸರಣಿಯು ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಆರಂಭಗೊಂಡು ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಮತ್ತು ಎರಡು ಹೆಚ್ಚುವರಿ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಲ್ಲಿ ಅಂತ್ಯಗೊಳ್ಳುವ ಒಂದು **ಆವರ್ತನ (Cycle)** ಆಗಿದೆ. ಡ್ಯುಟರಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನಲ್ಲಿ (ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಅನ್ನು ಒಳಗೊಳ್ಳುವ) ಪರ್ಯವಸಾನವಾಗುವ ಎರಡು ಪ್ರೊಟಾನುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ಈ ಸರಣಿಯ ಪ್ರಪ್ರಥಮಕ್ರಿಯೆಯು ಸಂಪೂರ್ಣ ಸರಣಿಗೆ **ನಿರ್ಣಾಯಕ ಕಾರಕ** ಅಂಶವಾಗಿದೆ. ಈ ಘಟನೆಯ ಕಾಲಪ್ರಮಾಣ ಸುಮಾರು ಒಂದು ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳು. ಅಂದರೆ ಸೂರ್ಯನ ತಿರುಳಿನಲ್ಲಿರುವ ಒತ್ತಡ ತಾಪಗಳ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಕೂಡ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಸೇರಿ ಡ್ಯುಟರಿಯಂ ಆಗಲು **ಸುಮಾರು ಒಂದು ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳೇ** ಬೇಕಾಗುವುದು. ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ನಡುವೆ ಆಗುವ ಬಹಳಷ್ಟು ಆಘಾತಗಳಲ್ಲಿ (ಕೊಲಿಶನ್) ಅವು ಒಟ್ಟಿಗೆ ಬಂದು ಪುನಃ ದೂರ ಹೋಗುವುವು. ಸಮ್ಮಿಳನವಾಗುವ ಸಂಭವನೀಯತೆ ಅತ್ಯಲ್ಪ. ಕಾರಣ, **ದುರ್ಬಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯರ್ ಬಲಗಳೇ** ಈ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸುವುದು. ಸರಣಿಯ ಇನ್ನುಳಿದ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ವೇಗವಾಗಿರುವುವು. ಏಕೆಂದರೆ ದುರ್ಬಲಶಕ್ತಿಗಿಂತ **ಬಹುಪಾಲು ಬಲವತ್ತರವಾಗಿರುವ** ಪ್ರಬಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯರ್ ಬಲವು ಇವನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುತ್ತದೆ.

ಹೀಲಿಯಂ ಉತ್ಪಾದಕವೂ ತತ್ಫಲವಾದ ಸೂರ್ಯನ ಶಕ್ತಿಗೆ ಕಾರಣವೂ ಆದ ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಕ್ರಿಯೆ ಎಂದರೆ CNO ಆವರ್ತನ. ಹೆಸರೇ ಸೂಚಿಸುವಂತೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಮೂಲಧಾತುಗಳಾದ ಇಂಗಾಲ

(ಕಾರ್ಬನ್), ಸಾರಜನಕ (ನೈಟ್ರೋಜನ್) ಮತ್ತು ಆಮ್ಲಜನಕ (ಆಕ್ಸಿಜನ್) – ಇವುಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದೆ. ಆದರೆ ಇಲ್ಲಿ ಅದನ್ನು ನಾವು ವಿವರಿಸುವುದಿಲ್ಲ.

ಈಗ ನಾವು ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನುಂಟು ಮಾಡುವ ಹೀಲಿಯಂ ದಹನವನ್ನು ಒಳಗೊಳ್ಳುವ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನೋಡೋಣ. ಆಮ್ಲಜನಕ ದಹನವೇ ಪ್ರಧಾನವಾದ ಸೂರ್ಯ ಅಥವಾ ಅದೇ ಗಾತ್ರದ ಇತರ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವುದಿಲ್ಲ.

ಅನಿಲ ಮೋಡದೊಳಗಿನ ಚಾಲಕ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಈ ಹಿಂದೆ ನಾವು ನೋಡಿದಂತೆ ಜಲಜನಕ ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಂಡ ನಂತರ ಮತ್ತು ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಹೆಚ್ಚುವರಿ ಶಾಖವು ಹೊರಕ್ಕೆ ಪ್ರಸಾರಿತಗೊಂಡ ನಂತರ ನಕ್ಷತ್ರವು ಕೊಂಚ ತಣ್ಣಗಾಗುವುದು. ತದನಂತರ ಮಂದಗತಿಯಲ್ಲಿ ಸಂಕೋಚನಗೊಳ್ಳಲು ಆರಂಭಿಸುವುದು. ಈ ಸಂಕೋಚನವು ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳಿನ ತಾಪವನ್ನು ಸುಮಾರು 100 ದಶಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಂಟಿಗ್ರೇಡ್‌ಗೆ ಏರಿಸುವುದು. ಈ ಮಟ್ಟದ ತಾಪದಲ್ಲಿ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳು ಸಮ್ಮಿಳನಗೊಂಡು ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳಾಗುವುವು.

ಈ ಹೀಲಿಯಂ ದಹನದಲ್ಲಿನ ಪ್ರಥಮಕ್ರಿಯೆ ಹೀಗಿದೆ:

$$^{4}He + {}^{4}He \longrightarrow {}^{8}Be$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು **ಅಂತರುಷ್ಣಕ (ಎಂಡೊಥರ್ಮಿಕ್)** ಕ್ರಿಯೆಯಾಗಿದೆ. ಅಂದರೆ ಇದಕ್ಕೆ ಶಕ್ತಿಯ ಅವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಮುಂದಿನ ನಿರ್ಣಾಯಕ ಹಂತವೆಂದರೆ ಹೀಲಿಯಂ ದಹನ. ^{8}Be ಯಿಂದ ^{12}C ಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುವಿಕೆಯನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ಈ ಕ್ರಿಯೆ **ಬಹಿರುಷ್ಣಕ (ಎಕ್ಸೊಥರ್ಮಿಕ್)** ಕ್ರಿಯೆಯಾಗಿದೆ.

$$^{8}Be + {}^{4}He \longrightarrow {}^{12}C + \gamma$$

ಈ ಎರಡೂ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ ಮೂರು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳಿಂದ ಒಂದು ಇಂಗಾಲದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಅಂತಿಮ ಫಲವಾಗಿ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವುದು. ಏಕೆಂದರೆ ಮೊದಲನೇ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಬಳಕೆಯಾದ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಎರಡನೇ ಕ್ರಿಯೆಯು ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಆದಾಗ್ಯೂ ಇದು ಅತ್ಯಂತ ತಾಪಸಂವೇದಿ ಕ್ರಿಯೆಯಾಗಿದ್ದು ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕಕ್ಕಿಂತ **ಹೀಲಿಯಂ ಒಂದು ಇಂಧನವಾಗಿ ಅತ್ಯಧಿಕ ಪ್ರಬಲ ಸ್ಫೋಟಕವಾಗಿದೆ** ಎಂಬುದನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ^{12}C ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ನಂತರ ಆಮ್ಲಜನಕ ಮತ್ತು ಜಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಮತ್ತಷ್ಟು ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತವೆ.

$$^{12}C + {}^{4}He \longrightarrow {}^{16}O + \gamma$$

$$^{12}O + {}^{4}He \longrightarrow {}^{20}Ne + \gamma$$

ಹೀಲಿಯಂ ದಹನದಂತೆ ಇರುವ ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳು ಇಂಗಾಲ, ನಿಯಾನ್, ಆಮ್ಲಜನಕ, ಸಿಲಿಕಾನ್ ಇತ್ಯಾದಿ ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ದಹನಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತವೆ. ಇಂತಹ ಕ್ರಿಯೆಗಳು **ಶತಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿ** ಅಥವಾ ಇನ್ನೂ ಅಧಿಕ ತಾಪಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಉಂಟಾಗುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಗಳು ಹೆಚ್ಚು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಬಹುತೇಕ ಸಾಕಷ್ಟು ಸಂಕೀರ್ಣವಾಗಿದ್ದು ಅನೇಕಾನೇಕ **ರೀತಿಗಳಲ್ಲಿ** ಮುಂದುವರೆಯಬಹುದಾಗಿದೆ. ಅಂದರೆ ಸಂಭವನೀಯತೆಯನ್ನು ಆಧರಿಸಿ ಇದು ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ವಿಧದ ಉತ್ಪನ್ನವನ್ನು ಕೊಡಬಹುದಾಗಿದೆ. (ಬಾಕ್ಸ್ 5 ಸ್ಮರಿಸಿ). ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಮೆಗ್ನೀಷಿಯಂ ಅಥವಾ ಸೋಡಿಯಂ ಅಥವಾ ನಿಯಾನ್ ಅಥವಾ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವಂಥ ಎರಡು ಇಂಗಾಲದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸಿ:

$$^{12}C + {}^{12}C \longrightarrow {}^{24}Mg + \gamma$$

$$\longrightarrow {}^{23}Mg + n$$

$$\longrightarrow {}^{23}Na + p$$

$$\longrightarrow {}^{20}Ne + {}^{4}He$$

$$\longrightarrow {}^{16}O + 2\,{}^{4}He$$

ಈ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ರೀತಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಬಹಳ ಭಿನ್ನ ಮತ್ತು ನಕ್ಷತ್ರದ ತಿರುಳಿನ ತಾಪವನ್ನು ಇದು ಅವಲಂಬಿಸಿದೆ. ಇದೇ ರೀತಿ, ^{22}Si, ^{31}S, ಮತ್ತು ^{31}P – ಇವುಗಳನ್ನು ನೀಡುವ ಆಮ್ಲಜನಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಒಳಗೊಳ್ಳುವ ಭಿನ್ನ ಭಿನ್ನ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯಬಹುದು.

ಇಂತಹ ಅತ್ಯಧಿಕ ತಾಪಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನಗೊಂಡ ವಿಕಿರಣದ ಕೆಲಭಾಗವು ಹೊಸತಾಗಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳನ್ನು ಒಡೆದು ಸಣ್ಣ ಸಣ್ಣ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳಾಗಿ ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗೆ ದ್ಯುತಿವಿಯೋಜನೆ **(ಫೋಟೊಡಿಸ್‌ಇಂಟಿಗ್ರೇಷನ್)** ಎಂದು ಕರೆಯುವರು. ಈ ಮಟ್ಟದ ತಾಪಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಇಂತಹ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸನ್ನಿವೇಶವನ್ನು ಮತ್ತಷ್ಟು ಸಂಕೀರ್ಣಗೊಳಿಸುವುದು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ,

$$^{20}Ne + \gamma \longrightarrow {}^{16}O + {}^{4}He$$

ಎಂಬ ಕ್ರಿಯೆಯು ನಿಯಾನಿನ ದ್ಯುತಿವಿಯೋಜನೆಯ ಮೂಲಕ ಹೀಲಿಯಂ ಅನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಬಲ್ಲದು. ಅಂತಹ ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಪುನಃ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸರಣಿಯ ಮೂಲಕ ಸಂಯೋಗಗೊಳ್ಳುತ್ತಾ ^{16}O, ^{24}Mg, ಮತ್ತು ^{28}Si ಗಳ ಒಂದು ಮಡುವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವುದು. ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ತಿರುಳಿನ ತಾಪ ಮೂರು ಶತಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ ಅನೇಕ ಸಂಕೀರ್ಣ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸರಣಿಗಳು ಮತ್ತು ದ್ಯುತಿ ವಿಯೋಜನೆಯು ಸಂಭವಿಸಬಹುದು. ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳು ಕ್ರಮಶಃ ^{27}Al ಮತ್ತು ^{24}Mg ಮುಂತಾದ ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಕಡೆಗೆ ^{56}Fe ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುವುವು. ^{56}Fe ಗಿಂತ ಕಡಿಮೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಿಕೆ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುವುವು. ಆದರೆ ^{56}Fe ಗಿಂತ ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಿಕೆಗೆ ಶಕ್ತಿಯು ಬೇಕಾಗುವುದು.

ಆದರೆ ಈ ಅಧಿಕತರ ಭಾರವುಳ್ಳ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಹೇಗೆ ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಗೊಳ್ಳುವುವು? ಇಂತಹ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಒಂದು ಗುಂಪು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಹೀರಿಕೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದು. ಧನಾವೇಶಿತ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ನಡುವೆಯಿರುವ ಪ್ರಬಲ ಅಪಕರ್ಷಣದಿಂದ ಪ್ರಭಾವಿತವಾಗದ ಪ್ರಕ್ರಿಯೇ ಇದಾಗಿದೆ. ಪರಮಾಣು ರಾಶಿ Z ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ A - ಇವುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡಾಗ (Z+1) ಪರಮಾಣು ರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಆಗುವುದಲ್ಲದೆ ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ (A+1) ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಹೊಸ ಮೂಲಧಾತುವನ್ನು ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ (emitting) ಕ್ಷಯಗೊಳ್ಳುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವವರೆಗೂ ಮುಂದುವರೆಯಬಲ್ಲದು. ಕಬ್ಬಿಣಕ್ಕಿಂತಲೂ ಭಾರವಾದ

ಬಾಕ್ಸ್ 6: ಡ್ಯುಟಿರಿಯಂ [2H] ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಿಕೆಯ ಸಂಕ್ಷಿಪ್ತ ಕಾಲರೇಖೆ

1930 ರ ಹೊತ್ತಿಗೆ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವು ಹಲವು ನಿರ್ಣಾಯಕ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಗೊಳಿಸುತ್ತಿದ್ದು ಹತ್ತು ಹಲವು ಐಸೊಟೋಪುಗಳು, ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಅನ್ವೇಷಿಸಲ್ಪಡುತ್ತಿದ್ದವು. ರಾಬರ್ಟ್ ಡಿ ಎಸ್ಕೂರ್ಟ್ ಅಟ್ಕಿನ್‌ಸನ್ ಮತ್ತು ಚಾರ್ಲ್ಸ್ ಕ್ರಿಚ್‌ಫೀಲ್ಡ್ –ಇವರಿಬ್ಬರೂ ಪ್ರೋಟಾನ್–ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸರಣಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕುರಿತ ನಮ್ಮ ಅರಿವನ್ನು ವಿಕಸನಗೊಳಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರ ವಹಿಸಿದರು.

1919: ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿ ಎಡ್ಡಿಂಗ್‌ಟನ್ ಎಂಬಾತ ಸೂರ್ಯನಲ್ಲಿ ಆಗುವ ಶಕ್ತಿಉತ್ಪಾದನೆಯ ಮೂಲ ಜಲಜನಕವು ಹೀಲಿಯಂ ಆಗಿ **ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಗೊಳ್ಳುವುದೇ** ಆಗಿರಬಹುದು ಎಂದು ಅಭಿಪ್ರಾಯಪಟ್ಟನು. ಅದರೆ ಆತನಿಗೆ ಇದು ಹೇಗೆ ಆಗಬಹುದು ಎಂಬುದರ ಬಗ್ಗೆ ತಿಳಿದಿರಲಿಲ್ಲ. ಹೀಲಿಯಂನಲ್ಲಿ ನಿವ್ವಳ ಧನಾವೇಶ ಎರಡು ಇರಬೇಕಾದ್ದರಿಂದ ಅದರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನಲ್ಲಿ 4 ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು 2 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಇರಬೇಕು ಎಂದು ಜನರು ತಿಳಿದಿದ್ದರು (ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು 1932ರಲ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದರು ಎಂದು ನೆನಪಿನಲ್ಲಿಡಿ). 2 ಅಥವಾ 3 ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದ ಯಾವುದೇ ನೈಸರ್ಗಿಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಬಗೆಗೆ ತಿಳಿದಿರಲಿಲ್ಲ. 4ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಮತ್ತು 2 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟಿಗೆ ಬಂದು,ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡಿ ಒಟ್ಟಿಗೆ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಆಗಿ ಸ್ಥಿತಗೊಳ್ಳುವಂತಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಅದು ಎಡ್ಡಿಂಗ್‌ಟನ್ ಹೇಳಿದ ಆಧಾರಕಲ್ಪಿತ ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆ ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದಾದ ಏಕಮಾತ್ರ ಮಾರ್ಗವಾಗಿತ್ತು. ಇಂತಹ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಅತ್ಯಂತ ಸಂಕೀರ್ಣ ಮತ್ತು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಸಂಭವನೀಯ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿತ್ತು.

1931: ಅಟ್ಕಿನ್‌ಸನ್ ಹೀಗೆ ಅಭಿಪ್ರಾಯಪಟ್ಟನು– **"ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ದೊರೆತ ದತ್ತಾಂಶಗಳ ಸಂಗ್ರಹ ಎಷ್ಟಿತ್ತೆಂದರೆ ವಿರೋಧಾಭಾಸವಿಲ್ಲದೆ ಒಂದು ತಾತ್ಕಾಲಿಕ ಆಧಾರಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ರೂಪಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವಿರಲಿಲ್ಲ"**. ಇಂಥ ಸಮಯದಲ್ಲಿ, ಹಲವು ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಕೈಗೊಳ್ಳಲಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ, ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿ ಆದಿಯಿಂದ ಅಸ್ತಿತ್ವಲ್ಲಿದ್ದ ಏಕಮಾತ್ರ ರಾಸಾಯನಿಕವು ಜಲಜನಕವೇ ಎಂದು ಅಂಗೀಕರಿಸಲಾಯಿತು. ಕಷ್ಟಕರವಾದದ್ದು ಏನೆಂದರೆ ಕೇವಲ ಶುದ್ಧ ಜಲಜನಕದಿಂದ ಸಮ್ಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭಗೊಳ್ಳುವುದಾದರೂ ಹೇಗೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದು. ಜಲಜನಕಕ್ಕಿಂತ ಭಾರವಾದ ಮೂಲಧಾತುಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವ ಮೊದಲೇ ಇತ್ತು ಎಂಬ ಊಹನದೊಂದಿಗೆ, ಆದರೆ ಅವು ಹೇಗೆ ರೂಪುಗೊಂಡಿದ್ದಿರಬಹುದು ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ಯಾವ ವಿವರಣೆಯಿಲ್ಲದೆ ಸಂಶೋಧಕರು ಕಾಯೋನ್ಮುಖರಾಗಿದ್ದ ಸನ್ನಿವೇಶಗಳು ಅವಾಗಿದ್ದವು.

1936: ಇತ್ತೀಚಿನ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು, ಡ್ಯುಟಿರಿಯಂ ಮತ್ತು (^2H) ಮತ್ತು ಪೊಸಿಟ್ರಾನುಗಳ ಅನ್ವೇಷಣೆಯ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿ ಅಟ್‌ಕಿನ್‌ಸನ್ 1931 ರಿಂದ ತನ್ನ ಸನ್ನಿವೇಶಗಳನ್ನೆಲ್ಲಾ ಪುನರ್‌ಪರೀಕ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದನು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನೊಂದಿಗಿನ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಿಂದ ಅಪಕರ್ಷಣೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಎದುರಿಸುವುದಿಲ್ಲ ಎಂದೂ (ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ನಿವ್ವಳ ಆವೇಶವು ಶೂನ್ಯ) ಹಾಗಾಗಿ ಅವು ಯಾವ ತಾಪಮಾನದಲ್ಲೂ ಸಹ ಕಾರ್ಯೋನ್ಮುಖವಾಗಬಲ್ಲವು ಎಂದೂ ನಂಬಲಾಗಿತ್ತು. ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆಯೇ ಎಂಬುದು ಈಗ ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಗಿತ್ತು.ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾಧ್ಯವಿರುವ ಎಲ್ಲಾ ಪ್ರೋಟಾನು ಉತ್ಪಾದಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದಾಗ ಅಂಥಾ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಅತಿ ಮಂದಗತಿಯವು ಹಾಗೂ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡುವಂಥವು ಎಂದು ತಿಳಿದುಬಂತು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, $^1H + e \rightarrow n$, ಪ್ರೋಟಾನಿನಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನ ಹೀರಿಕೆ ತತ್ಫಲವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಉತ್ಪತ್ತಿ– ಎಂಬೀ ಕ್ರಿಯೆ ಕಂಡುಬರಲೇ ಇಲ್ಲ. ಅಟ್ಕಿನ್‌ಸನ್ ಹೇಳಿದ ಉಳಿದ ಏಕಮಾತ್ರ ಪರ್ಯಾಯವೆಂದರೆ $^1H + {^1H} \rightarrow 2\,{^2H} + e^+$, ಎಂಬೀ ಕ್ರಿಯೆಯ ಮೂಲಕ ಮೊದಲು ಹೇರಳವಾಗಿ ಡ್ಯುಟಿರಿಯಂ ಅನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ನಂತರ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವುದು. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಅಟ್ಕಿನ್‌ಸನ್ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಡ್ಯುಟಿರಿಯಂ ಅನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಅದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವುದು ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದ್ದ. ಅಲ್ಲದೆ, ಇದು ಸುಲಭವೂ.ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಯು ನಡೆಯುವ ವೇಗವೆಷ್ಟು ಎಂದು ಅಳೆಯುವುದು ಸುಲಭ ಎಂದೂ ಭಾವಿಸಿದ್ದ. ಇಲ್ಲಿ ಆತ ತಪ್ಪಿದ. ಏಕೆಂದರೆ, ಇದೇ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಅತಿ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಕ್ರಿಯೆ ಮತ್ತು ಇದರ ಅತ್ಯಂತ ಅಲ್ಪ ಇಳುವರಿಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಇದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಅಳೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುವುದೇ ಇಲ್ಲ ಎನ್ನಬಹುದು. ಜೊತೆಗೆ, ಕಷ್ಟಕರ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಾದ ಡ್ಯುಟಿರಿಯಂನ ರೂಪುಗಳ್ಳುವಿಕೆಯ ನಂತರವೇ ಇತರ ವೇಗವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯುವುದಕ್ಕೆ ಸುಗಮ ದಾರಿ ತೋರಿಬರುವುದು.

1938: ಚಾರ್ಲ್ಸ್ ಕ್ರಿಚ್‌ಫೀಲ್ಡ್ (1911–1994) ಜಾರ್ಜ್ ವಾಷಿಂಗ್‌ಟನ್ ಯೂನಿವರ್ಸಿಟಿಯಲ್ಲಿ ಓರ್ವ ಪಿಎಚ್. ಡಿ. ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಯಾಗಿದ್ದ. ಟೆಲ್ಲರ್ ಮತ್ತು ಗಾಮೊ ಅವರುಗಳ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ. ನಕ್ಷತ್ರದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ವೇಗದಲ್ಲಿ ಮೊದಲನೆಯ p-p ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುವುದು ಎಂದು ಆತನಿಗೆ ಲೆಕ್ಕಮಾಡಲು ಗಾಮೊ ಸಲಹೆ ಮಾಡಿದ. ಕ್ರಿಚ್‌ಫೀಲ್ಡ್ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರವನ್ನು ಮುಗಿಸಿದ ನಂತರ ಅದನ್ನು ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮುಖಂಡನೆಂದು ಹೆಸರುವಾಸಿಯಾಗಿದ್ದ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಹ್ಯಾನ್ಸ್‌ಬೀತ್‌ಗೆ ತೋರಿಸಿ ಆತನ ಒಪ್ಪಿಗೆ ಪಡೆಯುವಂತೆ ಗಾಮೊ ಸಲಹೆ ಮಾಡಿದ. ಬೀತ್ ಆ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳು ಸರಿಯಾಗಿವೆಯೆಂದು ಹೇಳಿದ. ಆದ್ದರಿಂದ 1938 ರಲ್ಲಿ ಬೀತ್ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಚ್‌ಫೀಲ್ಡ್‌ರವರುಗಳು ಲೆಕ್ಕಾಚಾರವನ್ನು ಪ್ರಕಟಗೊಳಿಸಿದರು. ಈ p-p ಕ್ರಿಯೆಯ ಬಗೆಗೆ ವಿಚಾರವನ್ನು ಯೋಚಿಸಿದ ಅಟ್ಕಿನ್‌ಸನ್‌ಗೆ ಈ ಸಂಶೋಧಕರು ಸಲ್ಲತಕ್ಕ ಗೌರವವನ್ನು ಸಲ್ಲಿಸಲಿಲ್ಲ.

ಚಿತ್ರ 8. ರಾಬರ್ಟ್ ಡಿ ಎಸ್ಕೊರ್ಟ್ ಅಟ್‌ಕಿನ್‌ಸನ್ ಮತ್ತು ಚಾರ್ಲ್ಸ್ ಕ್ರಿಚ್‌ಫೀಲ್ಡ್ ಪ್ರೋಟಾನ್–ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸರಣಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕುರಿತ ನಮ್ಮ ಅರಿವನ್ನು ವಿಕಾಸಗೊಳಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಮಹತ್ವದ ಪಾತ್ರ ವಹಿಸಿದರು.

ಹೀಗೆ p-p ಸರಣಿಯ ಪ್ರಥಮ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕುರಿತಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.ಬಹುತೇಕ ಸಂಶೋಧನಾ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳಲ್ಲಿಯೇ ನಡೆಸಲಾಯಿತು ಹಾಗೂ ಇವುಗಳನ್ನು ಮತ್ತಷ್ಟು ನಿಖರತೆಗಾಗಿ ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯೊಂದಿಗೆ ತಾಳೆನೋಡಲಾಯಿತು.

ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಹೀರಿಕೆಯಿಂದ ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ ಎಂಬ ಅಂಶವನ್ನು ಗಮನಿಸಿ.

ಉಪಸಂಹಾರ

ಇಲ್ಲಿ ನಾವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಹೇಗೆ ಉತ್ಪನ್ನಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಸಂಕ್ಷಿಪ್ತವಾಗಿ ನೋಡಿದೆವು. ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಗೆ ವಯಸ್ಸಾದಂತೆ ಹಾಗೂ ಅವು ಸೂಪರ್‌ನೋವಾಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಂಡಂತೆ ಅವು ಸ್ಫೋಟಗೊಂಡು ಅವು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿ ಬಿತ್ತುತ್ತವೆ. ಈ ಮೂಲಧಾತುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಜೀವಪೋಷಕಗಳಾಗಬಲ್ಲ ಹೊಸ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಮತ್ತು ಗ್ರಹಗಳಾಗಿ ಸಾಂದ್ರಗೊಳ್ಳಬಲ್ಲ ಅನಿಲಮೋಡಗಳಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತವೆ.

ಕಣಗಳನ್ನು ಪರಸ್ಪರ ಎಸೆದು ಅವು ಯಾವ ಹೊಸ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತವೆ, ಪರಸ್ಪರ ಆಘಾತದಿಂದ ಅವು ಹೇಗೆ ಕ್ಷಯಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ ಮತ್ತು ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಉಂಟಾಗುವ ಸಂಭವನೀಯತೆ ಏನು? ಇವೆಲ್ಲವನ್ನೂ ಕೈಗೊಳ್ಳುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ನಮಗೆ ನೀಡುವ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಕಸನವಾಗಿರದಿದ್ದಲ್ಲಿ ಈ ಕಥೆಯ ಬಹಳಷ್ಟು ಭಾಗ ನಮಗೆ ತಿಳಿಯುತ್ತಲೇ ಇರಲಿಲ್ಲ. ವಿಕಿರಣಶೀಲತೆ (ರೇಡಿಯೊ ಆಕ್ಟಿವಿಟಿ)ಯನ್ನು ನೋಡುವ ಹಾಗೂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ಗಳ ಸ್ಥಿರತೆಗಳನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳುವ ಹೊಸ ಮಾರ್ಗಗಳು ಹಾಗೂ ಹೊಸ ರೀತಿಗಳು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಹೇಗೆ ಮೂಲಧಾತುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತವೆ ಎಂಬ ರಹಸ್ಯವನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ನಿರ್ಣಾಯಕವಾಗಿವೆ. ಇನ್ನೂ ಅನೇಕಾನೇಕ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಉತ್ತರಿಸಲು ಬಾಕಿಯುದ್ದು ಅನೇಕ ವಿಸ್ಮಯಗಳನ್ನು ನಮ್ಮ ಮುಂದಿರಿಸಬಲ್ಲ ಅಧ್ಯಯನ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುತ್ತಾ ಇದೆ.

ಸೂಚನೆ: ಲೇಖನದ ಶೀರ್ಷಿಕೆಯ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿರುವ ಚಿತ್ರದ ಕೃಪೆ: A star-forming region in the large Megaellanic C loud. ESA/Hubble, Wikimedia Commons. URL:https://upload. Wikimedia/commons/6/62/Starsinthesky.ipg. License:CC-BY.

ಗ್ರಂಥಋಣ:

1. The Synthesis of Elements: The Astrophysical Quest for Nucleosynthesis and What It Can Tell Us About the Universe.Giora Shaviv.Springer-Verlag
2. Berlin Heidelberg, 2012, ISBN 978-642-28384-0.
3. Theoritical Astrophysics Volume 1: Astrophysical Processes. T. Padmanabhan. Cambridge University Press, 2000.
4. The Atom in the History of Human Thought: Bernard Pulman. Oxford University Press, 1998.

ಶ್ರೀನಿವಾಸನ್ ಕೃಷ್ಣನ್ ಸದ್ಯದಲ್ಲಿ ಸೆಂಟರ್ ಫಾರ್ ಲರ್ನಿಂಗ್, ಬೆಂಗಳೂರು – ಇಲ್ಲಿ ಬೋಧಿಸುತ್ತಾರೆ. ಇವರು ಸೆಮಿ–ಕ್ಲಾಸಿಕಲ್ ಕ್ವಾಂಟಮ್ ಗ್ರಾವಿಟಿ ಎಂಬ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ IUCCA ಯಿಂದ ಪಿ.ಎಚ್‌ಡಿ ಪದವಿಯನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದಾರೆ. ಡಿಸೈನ್ ಆಂಡ್ ಟೆಕ್ನಾಲಜಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ಸ್ ಮತ್ತು ಓದು ಇವರ ಆಸಕ್ತಿಯ ವಿಷಯಗಳು ಇವರನ್ನು ksrini69@gmail.com ಎಂಬಲ್ಲಿ ಸಂಪರ್ಕಿಸಬಹುದು.

ಅನುವಾದ: ಬಿ.ಎಂ.ಚಂದ್ರಶೇಖರ್ **ಪರಿಶೀಲನೆ:** ಘನಶ್ಯಾಮ ಕೆ.ವಿ.