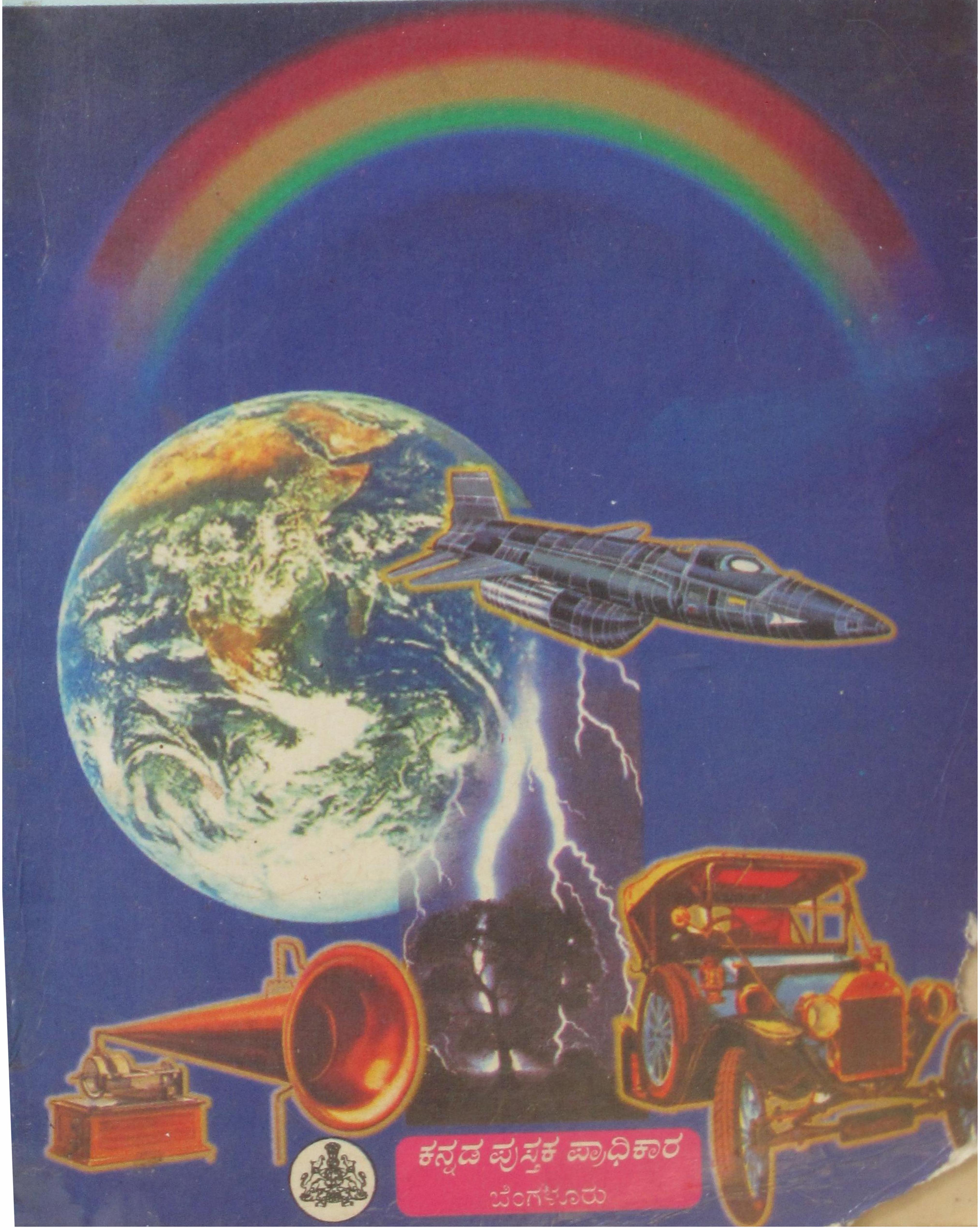
ವಿಜ್ಞಾನ ದೀಪಮಾಲೆ

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ

ಪ್ರೊ. ಡಿ.ಆರ್. ಬಳೂರಗಿ



ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ
ಬೆಂಗಳೂರು

ವಿಜ್ಞಾನ ದೀಪಮಾಲೆ

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ

ಪ್ರೊ. ಡಿ. ಆರ್. ಬಳೂರಗಿ

ಕರ್ನಾಟಕ ಸರ್ಕಾರ
ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ
ಪಂಪ ಮಹಾಕವಿ ರಸ್ತೆ, ಚಾಮರಾಜಪೇಟೆ
ಬೆಂಗಳೂರು - 560 018

ENRICO FERMI : A book on life and work of Enrico Fermi by Prof. D.R. Baluragi; published by Sri V. Sreenivasa, Administrator, Kannada Pustaka Pradhikara (Kannada Book Authority), Pampa Mahakavi Road, Chamarajpet, Bangalore- 560 018

Pages : viii + 152 Price : Rs.40-00
Illustrations : 16

ಗ್ರಂಥಸ್ವಾಮ್ಯ : ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ

ಪ್ರಥಮ ಮುದ್ರಣ : 1999

ಬೆಲೆ : ರೂ. 40-00

ಮುದ್ರಣ :
ಎಂ ಎಂ ಪ್ರಿಂಟಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್
ನಂ. 76, ಓಂಕಾರ್‌ನಗರ, ಬನ್ನೇರುಘಟ್ಟ ರಸ್ತೆ,
ಬೆಂಗಳೂರು - 560 076

ವಿಜ್ಞಾನ ದೀಪಮಾಲೆ

ಜ್ಞಾನ ಸಂಪಾದನೆ ಮತ್ತು ಜ್ಞಾನ ಪ್ರಸಾರಗಳ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಬಲ ಮತ್ತು ಪರಿಣಾಮಕಾರೀ ಮಾಧ್ಯಮ ಅಕ್ಷರ ಮಾಧ್ಯಮ. ಈ ಮಾಧ್ಯಮದಲ್ಲಿ ಆಹ್ಲಾದಕಾರಿಯೂ, ಅತ್ಯಾಕರ್ಷಕವೂ, ಜೀವನ ಸೌಂದರ್ಯದಾಯಕವೂ, ಸಂಸ್ಕೃತಿ ಸಂಪನ್ನವೂ, ಬುದ್ಧಿ ಮನಸ್ಸುಗಳ ವರ್ಧಕವೂ ಆದ ಅಪೂರ್ವ ಮಾಧ್ಯಮವೇ ಸಾಹಿತ್ಯ. ನಿತ್ಯ ಪರಿವರ್ತನಶೀಲವಾದ ಜಗತ್ತಿನ ಜ್ಞಾನ, ವಿಜ್ಞಾನ, ಸಂಸ್ಕೃತಿಗಳನ್ನು ತಲೆಮಾರಿನಿಂದ ತಲೆಮಾರಿಗೆ ಪ್ರವಹಣ ಮಾಡುತ್ತಾ ಮನುಷ್ಯನ ಜೀವನವನ್ನು ಪುಷ್ಟಿಗೊಳಿಸುತ್ತ, ತುಷ್ಟಿಗೊಳಿಸುತ್ತ, ವಿಕಾಸಗೊಳಿಸುತ್ತ ಪೂರ್ಣತೆಯ ಕಡೆಗೆ ಅವನನ್ನು ಕರೆದೊಯ್ಯುವುದೇ ಇದರ ಪರಮ ಗುರಿ. ಇಂಥ ಜೀವನೋತ್ಥಾನಕಾರಿಯಾದ ಉತ್ತಮ ಜ್ಞಾನ ಸಂಪತ್ತನ್ನು ವಿಶಿಷ್ಟ ಹಾಗೂ ಅರ್ಥಪೂರ್ಣ ಗ್ರಂಥಗಳ ಮೂಲಕ ಕನ್ನಡ ಓದುಗರಿಗೆ ಒದಗಿಸುವ ಗುರುತರ ಜವಾಬ್ದಾರಿಯನ್ನು ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ ಹೊತ್ತುಕೊಂಡು ನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತಿದೆ.

ಜ್ಞಾನ, ಸಂಸ್ಕೃತಿ ಮತ್ತು ಸಾಹಿತ್ಯ ಪ್ರಸಾರ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಕರ್ನಾಟಕ ಸರ್ಕಾರ ಬಹು ಹಿಂದಿನಿಂದ ಒತ್ತಾಸೆ ನೀಡುತ್ತ ಬಂದಿದೆ. ಈ ಪರಂಪರೆಯನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸುತ್ತ ಅದರ ಬಹುಮುಖ ಸಾಧನೆಗಳ ಪರಿಚಯವನ್ನು ವೈವಿಧ್ಯಮಯ ಕೃತಿಗಳ ಪ್ರಕಟಣೆ ಮೂಲಕ ಅರ್ಥಪೂರ್ಣವಾಗಿ ವಿಸ್ತರಿಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ. ವಿಶಾಲಾರ್ಥದಲ್ಲಿ ಸಾಹಿತ್ಯವನ್ನು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಮೂರು ಕವಲುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಭಾಗಿಸಬಹುದು. ಒಂದು, ಮನಸ್ಸನ್ನು ಮುದಗೊಳಿಸುವ ಹೃದಯವನ್ನು ಸಂಸ್ಕರಿಸುವ ಸೃಜನ ಪ್ರಧಾನವಾದ ಸಾಹಿತ್ಯ; ಎರಡು, ಜೀವನ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ವಿಸ್ತರಿಸುವ ಪುಷ್ಟಿಗೊಳಿಸುವ, ಮೊನಚುಗೊಳಿಸುವ ಚಿಂತನ ಪ್ರಧಾನವಾದ ವೈಚಾರಿಕ ಸಾಹಿತ್ಯ ; ಮತ್ತು ಮೂರು, ಮನುಷ್ಯನ ಸಮಗ್ರ ಬದುಕಿಗೆ ಪೂರ್ಣತೆಯನ್ನು ತಂದುಕೊಡುವ ಅವನ ಅನಂತ ಬೌದ್ಧಿಕ ಮತ್ತು ಸಂಶೋಧನಾ ಸಾಹಸದ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳನ್ನು ಪರಿಚಯಿಸುವ ಮೂಲಕ ಜ್ಞಾನದ ಉನ್ನತ ಸ್ಥರಗಳನ್ನು ಸ್ಪರ್ಶಿಸುವಂತೆ ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವ ಜ್ಞಾನ ಸಾಹಿತ್ಯ.

ಈ ಮೂರೂ ನೆಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗಿದೆ.

ಜಗತ್ತಿನ ಯಾವುದೇ ಜ್ಞಾನ, ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನವನ್ನು ಕನ್ನಡದ ಮೂಲಕವಾಗಿ ಸರ್ವಸಮರ್ಥವಾಗಿ ಅಭಿವ್ಯಕ್ತಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬ ಪರಿಕಲ್ಪನೆ ಈಗಾಗಲೇ ಸಾಬೀತಾಗಿದೆ. ಆದರೆ ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ ಕ್ಷೇತ್ರದ ವಿಶ್ವವ್ಯಾಪಕ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಅದರ ಬಗೆಗಿನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಪರಿಚಯಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ನಾವು ಈಗ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಇಂಗ್ಲಿಷ್ ಭಾಷೆಯನ್ನೇ ಆಶ್ರಯಿಸಬೇಕಾಗಿಬಂದಿರುವುದು ಅಪ್ರಿಯವಾದ ಕಹಿ ಸತ್ಯ. ಮಾತೃಭಾಷೆಯ ಅಥವಾ ಪ್ರಾಂತ ಭಾಷೆಯ ಮಾಧ್ಯಮದ ಮೂಲಕವಾಗಿಯೇ ಜಗತ್ತಿನ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾದರೆ ಮಾತ್ರ ಆ ಜ್ಞಾನದ ಎಲ್ಲ ಮಗ್ಗಲುಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ತಿಳಿಯುವುದು ಮತ್ತು ಆ ಮೂಲಕ ಹೊಸ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳಿಗೆ ನಮ್ಮ ಬುದ್ಧಿ ಮನಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಒಡ್ಡಿಕೊಳ್ಳುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಬೇಕಾದರೆ ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಶಿಕ್ಷಣ ದೇಶಭಾಷೆಯ ಮೂಲಕವೇ ಆಗಬೇಕಾದ್ದು ಮತ್ತು ಈ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪರಿಣತರು ತಮ್ಮ ವಿಷಯ ಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ಸಂಶೋಧನಾ ಪರಿಣತಿಯನ್ನು ದೇಶ ಭಾಷೆಯ ಮೂಳಕವೇ ಪ್ರಕಟಿಸುವುದು ಹಾಗೂ ಈ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಬೋಧಕ ವಿದ್ವಾಂಸರು ದೇಶ ಭಾಷೆಯ ಮೂಲಕವೇ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೆ ಈ ದಿಕ್ಕಿನ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಬೋಧಿಸಬೇಕಾದ್ದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗಿದೆ. ಈ ಮೂರೂ ನಿಟ್ಟಿನ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳು ಪ್ರಾಮಾಣಿಕವಾಗಿ ನಡೆದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಭಾಷೆಯ ಅಭಿವೃದ್ಧಿ ಹಾಗೂ ಜ್ಞಾನ ವಿಕಾಸ ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಕನ್ನಡದ ಮಕ್ಕಳಿಗೆ ಕನ್ನಡದ ಮೂಲಕವಾಗಿಯೇ ವಿಜ್ಞಾನಲೋಕದ ಅದ್ಭುತ ಸಾಧನೆಗಳ ಪರಿಚಯವನ್ನು ಮಾಡಿಸಿಕೊಡುವ ಉದ್ದೇಶದಿಂದ ''ವಿಜ್ಞಾನ ದೀಪಮಾಲೆ'' ಯನ್ನು ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ ಆರಂಭಿಸಿದೆ. ಈ ಮಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟವಾಗುವ ವಿಜ್ಞಾನ ವಿಷಯವನ್ನು ಕುರಿತ ವಿವಿಧ ಕೃತಿಗಳು ಸರಳವಾದ ಮತ್ತು ಸತ್ವಪೂರ್ಣವಾದ ಕನ್ನಡದಲ್ಲಿದ್ದು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳು ಮಾತ್ರವಲ್ಲ, ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಆಸಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಜನಸಾಮಾನ್ಯರು ಸಹ ಓದಿ ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು, ಆ ಮೂಲಕ ತಮ್ಮ ಅರಿವಿನ ದಿಗಂತವನ್ನು ವಿಸ್ತರಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ ಎಂಬ ಭರವಸೆ ನಮ್ಮದು.

ಈ ಮಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಈಗಾಗಲೇ ಹಲವು ಕೃತಿಗಳು ಪ್ರಕಟಗೊಂಡಿವೆ. ಸುಮಾರು 200 ಪುಟಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಈ ಪುಸ್ತಕಗಳಲ್ಲಿ ಜಗತ್ತಿನ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಜೀವನದ ಸಂಕ್ಷಿಪ್ತ ಪರಿಚಯದ ಜೊತೆಗೆ ಅವರ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಚಿಂತನೆ ಹಾಗೂ ಸಾಧನೆಗಳನ್ನು ಅಚ್ಚುಕಟ್ಟಾಗಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ.

ನಮ್ಮ ಪ್ರಾಧಿಕಾರದ ಕರೆಯನ್ನು ಗೌರವಿಸಿ ''ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ'' ಎಂಬ ಈ ಕೃತಿಯನ್ನು ರಚಿಸಿಕೊಟ್ಟಿರುವ ಪ್ರೊ. ಡಿ. ಆರ್. ಬಳೂರಗಿ ಅವರಿಗೆ ಪ್ರಾಧಿಕಾರದ ಪರವಾಗಿ ಧನ್ಯವಾದಗಳು. ಅಚ್ಚುಕಟ್ಟಾಗಿ ಮತ್ತು ಅಂದವಾಗಿ ಮುದ್ರಿಸಿರುವ ಎಂ ಎಂ ಪ್ರಿಂಟಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್ ಮುದ್ರಣಾಲಯದ ಸಿಬ್ಬಂದಿ ವರ್ಗಕ್ಕೆ ಕೃತಜ್ಞತೆಗಳು. ಈ ಮಾಲೆಯ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಲು ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಹಕಾರ ನೀಡುತ್ತಿರುವ ಪ್ರಾಧಿಕಾರದ ಮಾನ್ಯ ಸದಸ್ಯರಿಗೆ ನನ್ನ ನೆನಕೆಗಳು. ಈ ಮಾಲೆಯ ಪುಸ್ತಕಗಳ ಉಪಯುಕ್ತತೆಯನ್ನು ಅಧಿಕಗೊಳಿಸಲು ನೆರವಾಗುವ ಸಲಹೆ ಸೂಚನೆಗಳಿಗೆ ಸದಾ ಸ್ವಾಗತ.

18.5.1999
ಬೆಂಗಳೂರು

ಡಾ. ಎಚ್.ಜೆ. ಲಕ್ಕಪ್ಪಗೌಡ
ಅಧ್ಯಕ್ಷರು
ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರ

ಲೇಖಕನ ಮಾತು

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ತಾತ್ವಿಕ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಗಳೆರಡರಲ್ಲೂ ಗಮನಾರ್ಹ ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸಿದ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಆತನಷ್ಟು ಸಾಧನೆಗೈದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತೀರ ವಿರಳ. ನಾನು ಕಾಲೇಜಿನ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಯಾಗಿದ್ದಾಗ ಫರ್ಮಿ ರೂಪಿಸಿದ ಅನೇಕ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಓದಿದ್ದೇನೆ. ಅಧ್ಯಾಪಕನಾದ ಬಳಿಕ ಫರ್ಮಿಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಬೋಧಿಸುವ ಅವಕಾಶ ದೊರೆತಿದೆ. ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟದವು ; ಹರವು ಕೂಡ ಅಷ್ಟೇ ದೊಡ್ಡದು. ಒಬ್ಬ ಮನುಷ್ಯ ತನ್ನ ಅಲ್ಪಾವಧಿಯ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಇಷ್ಟು ಕೆಲಸ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವೆ? ಎಂದು ಅಚ್ಚರಿಪಟ್ಟಿದ್ದೇನೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಕಾಲೇಜು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಯಾಗಿದ್ದಾಗಿನಿಂದಲೂ, ಫರ್ಮಿ ನನಗೆ ಮೆಚ್ಚಿನ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಆತನ ಜೀವನ ಚರಿತ್ರೆ ಬರೆದುಕೊಡಲು ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರವು ನನ್ನನ್ನು ಕೇಳಿದಾಗ ನನಗಾದ ಸಂತೋಷ ಅಷ್ಟಿಷ್ಟಲ್ಲ.

ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸ್ವಭಾವ ಗಂಭೀರ. ಲೌಕಿಕ ಬದುಕಿನಲ್ಲಿ ಅವರಿಗೆ ನಿರಾಸಕ್ತಿ. ಅವರ ಗಮನವೆಲ್ಲ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಗುರಿಯತ್ತ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಫರ್ಮಿಯ ಬದುಕು ಕೂಡ ಇದಕ್ಕೆ ಹೊರತಲ್ಲ. ಮದುವೆಯಾದ ಹೊಸತರಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಯ ಪತ್ನಿ ಲಾರಾ ಪೀಠೋಪಕರಣಗಳ ಕುರಿತು ಫರ್ಮಿಯ ಸಲಹೆ ಕೇಳಿದಳಂತೆ. ಆಗ ಫರ್ಮಿ ಹೇಳಿದ್ದೇನು ಗೊತ್ತೆ? ''ನಿನ್ನ ಕುರ್ಚಿಗಳ ವಿನ್ಯಾಸ ಹೇಗಾದರೂ ಇರಲಿ ಆದರೆ ಅವುಗಳ ಕಾಲುಗಳು ನೆಟ್ಟಗಿದ್ದರೆ ಸಾಕು'' ಎಂದು.

ಒಬ್ಬ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಜೀವಿಸಿದ್ದ ಕಾಲದ ಅಗತ್ಯಗಳು ಆತನ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಮೇಲೆ ಪ್ರಭಾವ ಬೀರುವುದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ. ಅಗತ್ಯಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಸಂಶೋಧನೆಯ ದಿಕ್ಕು ಬದಲಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಫರ್ಮಿಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಾದದ್ದೂ ಹಾಗೆಯೇ. ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ಬಗ್ಗೆ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಬಗ್ಗೆ ಆತನ ಅಭಿಪ್ರಾಯವನ್ನು ನಾವು ಒಪ್ಪದೇ

ಇರಬಹುದು. ಆದರೆ ಆತನ ಅದ್ಭುತ ಕಲ್ಪನಾ ಶಕ್ತಿ, ಗ್ರಹಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ನಾವು ಒಪ್ಪದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ. ಫರ್ಮಿಯ ವೈಯಕ್ತಿಕ ಜೀವನಕ್ಕಿಂತ, ಆತನ ಸಾಧನೆಯ ಮೇಲೆ ಹೆಚ್ಚಿನ ಬೆಳಕು ಬೀರುವುದು ಈ ಕೃತಿಯ ಉದ್ದೇಶ. ಆ ಮಹಾವಿಜ್ಞಾನಿಯ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವ ಮತ್ತು ಸಾಧನೆಗಳನ್ನು ಈ ಪುಟ್ಟ ಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಹಿಡಿದಿಡಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದ್ದೇನೆ.

ಈ ಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಬರೆಯುವಾಗ, ನನ್ನ ಮಿತ್ರರೂ ಮತ್ತು ಕರ್ನಾಟಕ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ಮುಖ್ಯಸ್ಥರೂ ಆದ ಡಾ. ಬಿ.ಜೆ. ಮೂಲಿಮನಿಯವರು ಅನೇಕ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಗ್ರಂಥಗಳನ್ನು ಒದಗಿಸಿ ಸಹಾಯ ಮಾಡಿದ್ದಾರೆ. ಅವರಿಗೆ ನನ್ನ ಕೃತಜ್ಞತೆಗಳು ಸಲ್ಲಬೇಕು.

ಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದ ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರದ ಅಧ್ಯಕ್ಷರಾದ ಡಾ. ಹೆಚ್. ಜೆ. ಲಕ್ಕಪ್ಪಗೌಡ ಅವರಿಗೆ ನಾನು ಋಣಿ.

ರಾಯಚೂರು
1, ಮೇ 1999.

ಡಿ. ಆರ್. ಬಳೂರಗಿ

ಪರಿವಿಡಿ

1.	ಹುಟ್ಟು, ಬಾಲ್ಯ ಮತ್ತು ಶಿಕ್ಷಣ	....	1
2.	ವೃತ್ತಿ ಮತ್ತು ವಿವಾಹ	....	8
3.	ಸಾಧನೆ - ಸಂಶೋಧನೆ	....	14
4.	ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ- ದೇಶತ್ಯಾಗ	....	37
5.	ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನ	....	41
6.	ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ	....	65
7.	ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು	....	83
8.	ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು	....	106
9.	ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು	....	129
10.	ಕೊನೆಯ ದಿನಗಳು	....	147
	ಗ್ರಂಥಋಣ	....	152

1. ಹುಟ್ಟು, ಬಾಲ್ಯ ಮತ್ತು ಶಿಕ್ಷಣ

ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಾಲಿನಲ್ಲಿ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಗೆ ಒಂದು ವಿಶೇಷ ಸ್ಥಾನವಿದೆ. ತಾತ್ವಿಕ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳೆರಡರಲ್ಲೂ ಆತ ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆ ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟದ್ದು, ಗಮನಾರ್ಹವಾದದ್ದು. ಈ ಬಗೆಯ ಸಾಧನೆ ಮಾಡಿದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಕೇವಲ ಬೆರಳೆಣಿಕೆಯಷ್ಟು.

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಯ ತಂದೆ ಆಲ್ಬರ್ಟೋ ಫರ್ಮಿ ಇಟಲಿ ದೇಶದ ರೇಲ್ವೆ ಇಲಾಖೆಯಲ್ಲಿ ಅಧಿಕಾರಿಯಾಗಿದ್ದ. ರೋಮ್‌ನಿಂದ ಕೆಲವು ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರದಲ್ಲಿ ರೇಲ್ವೆ ನೌಕರರಿಗಾಗಿ ಕಟ್ಟಿಸಿದ ವಸತಿಗೃಹದಲ್ಲಿ ಅವರು ವಾಸಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಹಾಗೆ ನೋಡಿದರೆ ಆಲ್ಬರ್ಟೋ ಉನ್ನತ ವ್ಯಾಸಂಗ ಮಾಡಿದವನಲ್ಲ. ಆದಾಗ್ಯೂ ಸಹ ತನ್ನ ದಕ್ಷತೆ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಮಾಣಿಕತೆಯಿಂದ ಕೇವಲ ಪದವೀಧರರಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಮೀಸಲಾದ ಅಧಿಕಾರ ಸ್ಥಾನಕ್ಕೇರಿದ್ದ. ಆಲ್ಬರ್ಟೋ ಫರ್ಮಿಯ ಹೆಂಡತಿ ಇಡಾ ಡಿ ಗ್ಯಾಟಿಸ್ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಶಾಲಾ ಶಿಕ್ಷಕಿ. ಫರ್ಮಿ ದಂಪತಿಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಹೆಣ್ಣು, ಎರಡು ಗಂಡು, ಹೀಗೆ ಮೂರು ಜನ ಮಕ್ಕಳು. ಹಿರಿಯವಳು ಮಾರಿಯಾ, ಎರಡನೆಯವನು ಗಿಯುಲಿಯೊ, ಎನ್ರಿಕೊ ಕೊನೆಯವ. ಎನ್ರಿಕೊ ಜನಿಸಿದ್ದು 1901ರ ಸೆಪ್ಟೆಂಬರ್ 29 ರಂದು. ಗ್ಯಾಟಿಸ್‌ಳ ಆರೋಗ್ಯ ಅಷ್ಟು ಚೆನ್ನಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಆಕೆ ತನ್ನ ಗಂಡು ಮಕ್ಕಳಿಬ್ಬರನ್ನೂ ಹಳ್ಳಿಯಲ್ಲಿ ದಾದಿಯೋರ್ವಳ ರಕ್ಷಣೆಯಲ್ಲಿ ಬಿಟ್ಟಿದ್ದಳು. ಎನ್ರಿಕೊ ಮತ್ತೆ ತನ್ನ ತಂದೆ ತಾಯಿಯರನ್ನು ಸೇರಿಕೊಂಡಾಗ ಆತನಿಗೆ ಎರಡು ವರ್ಷ.

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಯ ತಾಯಿ, ಗ್ಯಾಟಿಸ್ ತುಂಬಾ ಶಿಸ್ತಿನ ಮತ್ತು ಕಟ್ಟುನಿಟ್ಟಿನ ಮಹಿಳೆಯಾಗಿದ್ದಳು. ಆದ್ದರಿಂದ ಮಕ್ಕಳ ತುಂಟತನಕ್ಕೆ ಅವಕಾಶವಿರಲಿಲ್ಲ. ಎನ್ರಿಕೊ ಅಣ್ಣ ಗಿಯುಲಿಯೊನೊಂದಿಗೆ ಸೇರಿಕೊಂಡು, ವಿಮಾನ ರಚಿಸಿ ಹಾರಿಸುವುದು, ವಿದ್ಯುತ್ ಮೋಟಾರ್ ತಯಾರಿಸಿ

ಓಡಿಸುವುದು ಮುಂತಾದ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ. ಎನ್ರಿಕೊಗೆ ಅಣ್ಣನೇ ಸಂಗಾತಿ. ಹೊರಗಿನ ಸ್ನೇಹಿತರು ಕಡಿಮೆ.

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ (1904-1954)

ಗಿಯುಲಿಯೊ ಹದಿನಾರು ವರ್ಷದವನಾದಾಗ ಆತನಿಗೆ ಗಂಟಲು ರೋಗ ಬಂದಿತು. ಉಸಿರಾಡುವುದೂ ಸಹ ಕಷ್ಟವಾಯಿತು. ಆಸ್ಪತ್ರೆಗೆ ಸೇರಿಸಿದಾಗ, ವೈದ್ಯರು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಶಸ್ತ್ರ ಚಿಕಿತ್ಸೆಯಾಗಬೇಕೆಂದರು. ಆದರೆ ಅರಿವಳಿಕೆಯ ಔಷಧಿ ನೀಡುವುದರೊಳಗಾಗಿಯೇ ಗಿಯುಲಿಯೊ ಕೊನೆಯುಸಿರೆಳೆದ. ಬೆಳೆದ ಮಗನ ಸಾವು ತಾಯಿಗೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಹಣ್ಣು ಮಾಡಿತು. ಆಗಾಗ್ಗೆ ಮಗನನ್ನು ನೆನೆದು ಕಣ್ಣೀರು ಸುರಿಸುತ್ತಿದ್ದಳು. ಗಿಯುಲಿಯೊನ

ಸಾವಿಗೆ ತಾಯಿಗಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚುದುಃಖ ಪಟ್ಟವ ಎನ್ರಿಕೊ. ಮನದಲ್ಲಿಯೇ ಸಾಕಷ್ಟು ಕೊರಗಿದ. ಆತ ಅನೇಕ ಸಲ ಗಿಯುಲಿಯೊ ಕೊನೆಯುಸಿರೆಳೆದ ಆಸ್ಪತ್ರೆಗೆ ಹೋಗಿ ಬರುತ್ತಿದ್ದ. ಅಕ್ಷರಶಃ ಒಬ್ಬಂಟಿಯಾದ ಎನ್ರಿಕೊಗೆ ದುಃಖ ಮರೆಯಲು ಉಳಿದ ಮಾರ್ಗ ಒಂದೇ, ಅದು ವ್ಯಾಸಂಗ. ಎನ್ರಿಕೊನ ತಂದೆಯ ಬಳಿ ಪುಸ್ತಕಗಳ ಸಂಗ್ರಹವೇನೂ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಎನ್ರಿಕೊ ತನಗೆ ಬೇಕಾದ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಕೊಂಡು ಅಥವಾ ಎರವಲು ತರುತ್ತಿದ್ದ. ಪ್ರತಿ ಬುಧವಾರ ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಕ್ಯಾಂಪೊ ಡಿ ಫಿಯೋರಿ ಸಂತೆಗೆ ಹೋಗಿ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಕೊಂಡು ತರುತ್ತಿದ್ದ. ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಎನ್ರಿಕೊನಿಗೆ ತನ್ನ ಅಣ್ಣ ಗಿಯುಲಿಯೊನ ಸಹಪಾಠಿಯಾಗಿದ್ದ ಪರ್ಸಿಕೊ ಎಂಬ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಯ ಪರಿಚಯವಾಯಿತು. ಅವರಿಬ್ಬರೂ ಸಮಾನ ಅಭಿರುಚಿಯುಳ್ಳವರಾದ್ದರಿಂದ, ಅವರ ಪರಿಚಯ ಗಾಢ ಸ್ನೇಹಕ್ಕೆ ತಿರುಗಿತು.

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಪರ್ಸಿಕೊ ಇಬ್ಬರಿಗೂ ಗಣಿತ ಮತ್ತು ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಗಳಲ್ಲಿ ಅತೀವ ಆಸಕ್ತಿ. ಈ ವಿಷಯಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಹಳೆಯ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಕೊಂಡು, ಒಬ್ಬರಾದ ಬಳಿಕ ಒಬ್ಬರಂತೆ ಸರದಿಯ ಪ್ರಕಾರ ಓದುತ್ತಿದ್ದರು. ಅವರು ಯಾರ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನವಿಲ್ಲದೆ ತಮ್ಮ-ತಮ್ಮೊಳಗೆ ಚರ್ಚಿಸಿ ಸಾಕಷ್ಟು ವಿಷಯಗಳನ್ನು ತಿಳಿದುಕೊಂಡರು. ಆಗ ಅವರಿಗೆ ತಾವು ತಿಳಿದುಕೊಂಡ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಖಚಿತಪಡಿಸಿ ಕೊಳ್ಳಬೇಕೆಂಬ ಅಭಿಲಾಷೆಯುಂಟಾಯಿತು. ಅವರು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಯತ್ನ ಶೀಲರಿದ್ದರೆಂದರೆ, ತಮಗೆ ಲಭ್ಯವಿರುವ ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಲಕರಣೆಗಳಿಂದಲೇ ಭೂಮಿಯ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಅಳತೆಮಾಡಿದರು. ತಾವು-ತಾವೇ ಬುಗುರಿಯ ಚಲನೆಯನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿದರು. ಬುಗುರಿಯು ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತ ವೇಗದಿಂದ ಸುತ್ತುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಅದು ನೆಟ್ಟಗೆ ನಿಲ್ಲುತ್ತದೆ. ಅದರ ಪರಿಭ್ರಮಣ ವೇಗ ಕಡಿಮೆಯಾದಂತೆ ಅದು ಓರೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಕ್ರಮೇಣ ಅದರ ತಲೆ ಇನ್ನೊಂದು ಅಕ್ಷದಗುಂಟ ವೃತ್ತಾಕಾರವಾಗಿ ಸುತ್ತಲಾರಂಭಿಸುತ್ತದೆ. ಎನ್ರಿಕೊ ಮತ್ತು ಪರ್ಸಿಕೊ ತಮಗೆ ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿದಿದ್ದ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ನಿಯಮಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಬುಗುರಿಯ ಚಲನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದರೂ ಎನ್ರಿಕೊ ಅಷ್ಟಕ್ಕೇ ಬಿಡಲಿಲ್ಲ.

ಸುತ್ತು ಬಳಸಿ, ಬುಗುರಿ ತಿರುಗುವ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ತಕ್ಕ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ವಿವರಿಸಿದನು. ಆದರೆ ಅದೇಕೋ ಆತನಿಗೇನೇ ತನ್ನ ವಿವರಣೆ ಅಷ್ಟು ಸಮಾಧಾನ ತರಲಿಲ್ಲ. ಮನಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಸಂದೇಹ ಉಳಿದುಕೊಂಡೇ ಬಿಟ್ಟಿತು. ಆಗ ಎನ್ರಿಕೊ ಪ್ರೌಢಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಓದುತ್ತಿದ್ದನು. ಶಾಲೆ ಬಿಟ್ಟೊಡನೆ ತನ್ನ ತಂದೆಯ ಆಫೀಸಿಗೆ ಹೋಗಿ, ಸಾಯಂಕಾಲ ತಂದೆಯೊಡನೆ ಮನೆಗೆ ಮರಳುವುದು ಆತನಿಗೆ ರೂಢಿಯಾಗಿತ್ತು. ಅವರೊಂದಿಗೆ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದವರೆಗೆ, ಎನ್ರಿಕೊನ ತಂದೆಯ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿ ಅಮಿಡಿ ಎಂಬಾತ ಬರುತ್ತಿದ್ದ. ಎನ್ರಿಕೊ ಪರಿಭ್ರಮಿಸುವ ಬುಗುರಿಯ ನಿಯಮಗಳ ಬಗ್ಗೆ ತನ್ನ ಸಂದೇಹವನ್ನು ಅಮಿಡಿಗೆ ಹೇಳಿದ. ಎನ್ರಿಕೊನ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಬುದ್ಧಿ, ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಕಂಡು ಅಮಿಡಿಗೆ ಅಚ್ಚರಿಯಾಯಿತು. ಪ್ರೌಢಶಾಲಾಮಟ್ಟದ ಜ್ಞಾನದಿಂದ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಅರಿತುಕೊಳ್ಳುವುದು ಕಷ್ಟವೆಂದೂ, ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಎನ್ರಿಕೊ ಮತ್ತಷ್ಟು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಬೇಕೆಂದೂ ಅಮಿಡಿ ಹೇಳಿದ. ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ಅಮಿಡಿಯನ್ನು ಭೇಟಿಯಾದುದು ಒಂದು ಯೋಗಾಯೋಗವೆಂದೇ ಹೇಳಬೇಕು. ಅದರಿಂದ ಎನ್ರಿಕೊನ ವಿದ್ಯಾಭ್ಯಾಸ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಮುನ್ನಡೆಯಿತು. ಎನ್ರಿಕೊನ ಜ್ಞಾನ ಹಂತ ಹಂತವಾಗಿ ಬೆಳೆಯಲು ಅನುವಾಗುವಂತೆ, ಅಮಿಡಿ ಆತನಿಗೆ ಒಂದೊಂದಾಗಿ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಕೊಟ್ಟ. ಗಣಿತ ಮತ್ತು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮೊದಲೇ ಆಸಕ್ತಿ ತಳೆದಿದ್ದ ಎನ್ರಿಕೊಗೆ ಇದರಿಂದ ತುಂಬಾ ಅನುಕೂಲವಾಯಿತು. ಅಮಿಡಿ ಕೊಡುತ್ತಿದ್ದ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಓದಿ ಜೀರ್ಣಿಸಿಕೊಂಡ. ಅಮಿಡಿಗೇನೇ ಸಾಧ್ಯವಾಗದಿದ್ದ ಅನೇಕ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹುಡುಗ ಫರ್ಮಿ ಲೀಲಾಜಾಲವಾಗಿ ಬಿಡಿಸಿಬಿಟ್ಟ. ಇದರಿಂದ ಅಮಿಡಿಗೆ ತುಂಬಾ ಸಂತೋಷವಾಯಿತು. ಆತ ಎನ್ರಿಕೊನ ಉನ್ನತ ವ್ಯಾಸಂಗದ ಬಗ್ಗೆ ವಿಶೇಷ ಆಸಕ್ತಿ ತಳೆದ. ಪ್ರೌಢಶಾಲಾ ಪರೀಕ್ಷೆ ಮುಗಿದ ಬಳಿಕ ಪೀಸಾ ನಗರಕ್ಕೆ ಹೋಗಿ ಕಾಲೇಜಿನ ವ್ಯಾಸಂಗ ಮುಂದುವರಿಸುವಂತೆ ಸೂಚಿಸಿದ. ಅಲ್ಲದೆ ಎನ್ರಿಕೊನ ತಂದೆ ತಾಯಿಯರನ್ನು ಒಪ್ಪಿಸಿದ. ಹೀಗೆ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ಕಾಲೇಜಿಗೆ ಸೇರಿಕೊಳ್ಳಲು ಪೀಸಾನಗರಕ್ಕೆ ಬಂದ.

ಪೀಸಾ ನಗರಕ್ಕೆ ತನ್ನ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಕೀರ್ತಿ ತಂದು

ಕೊಟ್ಟಾತ ಗೆಲಿಲಿಯೊ. ಆತ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣದ ಕಾರಣ ಕೆಳಗೆ ಬೀಳುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಕುರಿತು ಪ್ರಯೋಗ ನಡೆಸಿದ. ಓಲು ಗೋಪುರವಿರುವುದು ಪೀಸಾ ನಗರದಲ್ಲಿ. ಪೀಸಾ ನಗರಕ್ಕೆ ಬಂದ ಫರ್ಮಿ ಪ್ರವೇಶ ಪರೀಕ್ಷೆ ಬರೆದ. ಆತ ಬರೆದ ಉತ್ತರಗಳನ್ನು ಓದಿದ ಪ್ರೊ. ಪಿಟ್ಟರೆಲ್ಲಿ ಅವರಿಗೆ ಆಶ್ಚರ್ಯವಾಯಿತು. ಪ್ರೌಢಶಾಲಾ ಮಟ್ಟದ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳ ಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದಾಗ, ಫರ್ಮಿ ಬರೆದ ಉತ್ತರಗಳು ತೀರ ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿದ್ದವು. ಪ್ರೊ. ಪಿಟ್ಟರೆಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಕರೆದು ನಾಲ್ಕಾರು ಪ್ರಶ್ನೆ ಕೇಳಿ ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಂಡರು. "ಈ ಹುಡುಗ ಅಸಾಧಾರಣ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ. ಇಂತಹ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಅರಗಿಸಿಕೊಂಡ ಇಷ್ಟು ಚಿಕ್ಕವನನ್ನು ನಾನು ನೋಡಿಯೇ ಇಲ್ಲ" ಎಂದು ಪಿಟ್ಟರೆಲ್ಲಿ ಉದ್ಗರಿಸಿದರಂತೆ. ಆತ ಕಾಲೇಜಿನಲ್ಲಿ ಕಲಿಯಬೇಕಾದುದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಿಗೆ ಆಗಲೇ ಕಲಿತುಕೊಂಡಿದ್ದ. ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಅವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಬಗ್ಗೆ, ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಅವರ ಸಾಪೇಕ್ಷಸಿದ್ಧಾಂತದ ಬಗ್ಗೆ ಫರ್ಮಿ ಸ್ವಂತ ಅಧ್ಯಯನದಿಂದ ತಿಳಿದುಕೊಂಡಿದ್ದ. ಪೀಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರಾಗಿದ್ದ, ಲುಇಗಿ ಪುಸಿಮಾಂಟೆ ಅವರಿಗೇನೇ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್‌ರ ಸಾಪೇಕ್ಷಸಿದ್ಧಾಂತದ ಬಗ್ಗೆ ಫರ್ಮಿ ಒಂದು ಭಾಷಣ ಕೊಟ್ಟ. ಇನ್ನು ಫರ್ಮಿಯ ಬುದ್ಧಿ ಮಟ್ಟವನ್ನರಿತುಕೊಂಡು ಬೋಧಿಸುವ ಅಧ್ಯಾಪಕರು ಪೀಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ದೊರೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವೆ ? ಮುಂದೆ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನಿಯೆಂದು ಹೆಸರು ಮಾಡಿದ ರಾಸೆಟಿಯ ಪರಿಚಯ ಫರ್ಮಿಗೆ ಪೀಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಾಯಿತು. ರಾಸೆಟಿಗೆ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ವಿಶೇಷ ಆಸಕ್ತಿ. ಅದರೊಂದಿಗೆ ಆತನ ಅಭಿರುಚಿ ವೈವಿಧ್ಯಮಯ. ಹಲ್ಲಿ, ಮಿಡತೆಗಳನ್ನು ಹುಡುಕಿಕೊಂಡು ಹೋಗುತ್ತಿದ್ದ, ಸಹಪಾಠಿಗಳನ್ನು ಚೇಷ್ಟೆ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ. ಫರ್ಮಿ, ರಾಸೆಟಿಯ ಎಲ್ಲ ತುಂಟತನಗಳಲ್ಲೂ ಪಾಲುದಾರನಾಗಿರುತ್ತಿದ್ದ. ಒಂದು ವೇಳೆ ರಾಸೆಟಿಯ ಸ್ನೇಹವಿಲ್ಲದೆ ಹೋಗಿದ್ದರೆ, ಫರ್ಮಿಗೆ ಪೀಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ವಾತಾವರಣ ಬೇಸರ ತರುತ್ತಿತ್ತೇನೊ! ತುಂಟತನದಲ್ಲಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಅಧ್ಯಯನದಲ್ಲೂ ಸಹ ಇಬ್ಬರೂ ಮುಂದು. ಅವರಿಬ್ಬರೂ ಸ್ವಂತವಾಗಿ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುತ್ತ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಒಳಮರ್ಮಗಳನ್ನು ಅರಿತುಕೊಂಡರು. ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯ ಬೀಗದ ಕೈ ಅವರ ಬಳಿಯೇ ಇರುತ್ತಿತ್ತು. ಬೇಕಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುವ ಸೌಲಭ್ಯ ಅವರಿಗಿತ್ತು.

ಅವರನ್ನು ತಡೆಯುವವರಾರೂ ಇರಲಿಲ್ಲ.

1922ರಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ಎಕ್ಸ್-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸಿ ಮಹಾ ಪ್ರಬಂಧವನ್ನು ಬರೆದು ಪೀಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಕ್ಕೆ ಸಲ್ಲಿಸಿದ. ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯವು ಆತನ ಪ್ರಬಂಧವನ್ನು ಸ್ವೀಕರಿಸಿ ಪಿಹೆಚ್.ಡಿ ಪದವಿ ನೀಡಿತು. ಫರ್ಮಿ ಪಿಹೆಚ್.ಡಿ ಮಾಡಿದ್ದು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಾದರೂ, ಆತನ ಹೆಚ್ಚಿನ ಆಸಕ್ತಿ ತಾತ್ವಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೇ ಇದ್ದಿತು. ಆತ ಇಪ್ಪತ್ತು ವರ್ಷದವನಿದ್ದಾಗಲೇ ಅಂದರೆ 1921 ರಲ್ಲಿ ಇಟಲಿಯ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ನಿಯತಕಾಲಿಕದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಪ್ರಬಂಧಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದ್ದ. 1922 ರಲ್ಲಿ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಕುರಿತು ಮೂರು ಪ್ರಬುದ್ಧ ಲೇಖನಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದ. 1923ರ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಆತ ಒಟ್ಟು ಹದಿನಾಲ್ಕು ಸಂಶೋಧನಾತ್ಮಕ ಲೇಖನಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿ ಹೆಸರು ಮಾಡಿದ್ದ.

ಪಿಹೆಚ್.ಡಿ ಪದವಿ ಪಡೆದ ಬಳಿಕ ತನ್ನ ಮುಂದಿನ ಭವಿಷ್ಯವನ್ನರಸುತ್ತ ಫರ್ಮಿ ರೋಮ್‌ಗೆ ಮರಳಿದ ಮತ್ತು ರೋಮ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ಮುಖ್ಯಸ್ಥರಾಗಿದ್ದ ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರನ್ನು ಭೇಟಿ ಮಾಡಿದ. ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರಿಗೆ ಇಟಲಿಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವನ್ನು ಉನ್ನತಮಟ್ಟಕ್ಕೇರಿಸಬೇಕೆಂಬ ಅಭಿಲಾಷೆಯಿತ್ತು. ಗೆಲಿಲಿಯೊ ಮತ್ತು ಓಲ್ಟಾರಂತಹ ಮಹಾ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳನ್ನು ಕೊಟ್ಟ ದೇಶವಲ್ಲವೆ ಇಟಲಿ ? ಕಾರ್ಬಿನೊ ಉತ್ತಮ ಸಂಘಟಕರಾಗಿದ್ದರು. ಒಂದು ಯೋಜನೆ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಲು ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ಕೆಲಸಗಾರರಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಸಂಘಟನಾ ಚಾತುರ್ಯವೂ ಅಷ್ಟೇ ಮುಖ್ಯವಾದದ್ದು. ಕಾರ್ಬಿನೋರಿಗೆ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಯ ಬುದ್ಧಿಮತ್ತೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಅಪಾರ ವಿಶ್ವಾಸವಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿಯಂತಹ ನಾಲ್ಕು ಜನ ಪ್ರತಿಭಾವಂತರನ್ನು ಒಂದೆಡೆ ಸೇರಿಸಿದರೆ ಉತ್ತಮ ಕಾರ್ಯ ಮಾಡಬಲ್ಲರೆಂದು ಅವರು ನಂಬಿದ್ದರು. ಆದ್ದರಿಂದ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಉನ್ನತ ವ್ಯಾಸಂಗಕ್ಕಾಗಿ ವಿದೇಶಕ್ಕೆ ಕಳಿಸಬೇಕೆಂದು ಕಾರ್ಬಿನೊ ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದರು.

ಆಗ ಜರ್ಮನಿಯ ಗಾಟಿಂಗೆನ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ಕಾಶಿಯೆಂದು ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲೆಲ್ಲ ಹೆಸರಾಗಿತ್ತು. ಮಾಕ್ಸ್ ಬಾರ್ನ್ ಅಲ್ಲಿ

ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರಾಗಿದ್ದರು. ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ರಂತಹ ಪ್ರತಿಭಾಶಾಲಿಗಳು ಅಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಈ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿದ ಅನೇಕ ಜನ ವಿಶ್ವವಿಖ್ಯಾತ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಾಗಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಪಡೆದರು. ಆದ್ದರಿಂದ ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರು ಫರ್ಮಿಗೆ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿವೇತನ ದೊರಕಿಸಿಕೊಟ್ಟು, ಬಾರ್ನ್‌ನ ಬಳಿ ಹೆಚ್ಚಿನ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲು ಜರ್ಮನಿಗೆ ಕಳಿಸಿದರು. ಗಾಟಿಂಗೆನ್‌ನಲ್ಲಿ ಉತ್ತಮ ಊಟ ಮತ್ತು ವಸತಿಯ ಏರ್ಪಾಟಿತ್ತು. ಆದರೆ ಫರ್ಮಿಗೆ ಏಕೋ ಮಂಕು ಕವಿದುಬಿಟ್ಟಿತು. ಆತ ಯಾರೊಡನೆಯೂ ಮುಕ್ತವಾಗಿ ಬೆರೆಯಲಿಲ್ಲ. ತಾನು ಇತರರಷ್ಟು ಬುದ್ಧಿವಂತನಲ್ಲದಿರಬಹುದೆಂದು ತನ್ನಷ್ಟಕ್ಕೆ ತಾನೇ ಶಂಕಿಸುತ್ತಿದ್ದ. ಇಟಲಿಯಲ್ಲಿ ಬೇರಾರೂ ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದಲೇ ತಾನು ಬುದ್ಧಿವಂತನಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತಿರಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಿದ. ಪ್ರೊ. ಬಾರ್ನ್ ಕೂಡ ಆತನನ್ನು ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಪ್ರೋತ್ಸಾಹಿಸಲಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾಗಿ ಫರ್ಮಿ ಜರ್ಮನಿಯಲ್ಲಿ ಕಳೆದ ಏಳು ತಿಂಗಳು ಯಾವ ಸಾಧನೆಯನ್ನೂ ಮಾಡಲಾಗಲಿಲ್ಲ. ಆ ಏಳು ತಿಂಗಳು ಆತನ ಬದುಕಿನಲ್ಲಿಯೇ ತೀರಾ ನೀರಸ ತಿಂಗಳುಗಳಾಗಿದ್ದವು. ಶಿಷ್ಯವೇತನ ಮುಗಿದ ಬಳಿಕ ಖಿನ್ನತೆಯನ್ನು ಹೊತ್ತು ಇಟಲಿಗೆ ಮರಳಿದ.

2. ವೃತ್ತಿ ಮತ್ತು ವಿವಾಹ

ಗಾಟಿಂಗೆನ್ನಿನಿಂದ ಹಿಂದಿರುಗಿದ ಬಳಿಕ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಾಪಕ ವೃತ್ತಿಯನ್ನಾರಂಭಿಸಿದ. ಆಗ ಪ್ರೊ. ಎರ್ನ್ಫೆಸ್ಟ್ ಅವರ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಯಾಗಿದ್ದ ಉಲ್ಲೆನ್ ಬೆಕ್ ಒಂದು ಸಲ ರೋಮ್‌ಗೆ ಬಂದಿದ್ದ. ಎರ್ನ್ಫೆಸ್ಟ್ ತಮ್ಮ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗೆ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಭೇಟಿಮಾಡುವಂತೆ ಹೇಳಿದ್ದರು. ಎರ್ನ್ಫೆಸ್ಟ್ ಅವರು ಫರ್ಮಿಯ ಲೇಖನಗಳನ್ನು ಪತ್ರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ನೋಡಿದ್ದರು. ತನ್ಮೂಲಕ ಆತನ ಪ್ರತಿಭೆಯ ಪರಿಚಯ ಅವರಿಗಾಗಿತ್ತು. ಉಲ್ಲೆನ್ ಬೆಕ್ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿಯ ಭೇಟಿ, ಫರ್ಮಿಗೆ ಲೇಡನ್ ನಗರಕ್ಕೆ ಹೋಗುವ ಅವಕಾಶ ಕಲ್ಪಿಸಿತು. ಲೇಡನ್ನಿನಲ್ಲಿ ಎರ್ನ್ಫೆಸ್ಟ್ ಅವರು ತಮ್ಮ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಾದ ಉಲ್ಲೆನ್ ಬೆಕ್ ಮತ್ತು ಸ್ಯಾಮ್ ಗೊಡ್ಸ್ಮಿತ್ ಅವರೊಂದಿಗೆ ಸೇರಿಕೊಂಡು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಗೆ ಸಹ ಅವರೊಡನೆ ಕೆಲಸ ಮಾಡುವ ಅವಕಾಶ ಸಿಕ್ಕಿತು. ಎರ್ನ್ಫೆಸ್ಟ್ ಅವರ ಪ್ರೋತ್ಸಾಹ ಮತ್ತು ಸಹಕಾರದಿಂದ ಫರ್ಮಿಗೆ ಗಾಟಿಂಗೆನ್ನಿನಲ್ಲಿ ಕವಿದ ಮಂಕು ದೂರವಾಯಿತು. ಆತನ ಆತ್ಮವಿಶ್ವಾಸ ಪ್ರಖರಗೊಂಡಿತು. ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರದ ಬಗ್ಗೆ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಗೆ ಆಸಕ್ತಿ ಹುಟ್ಟಿದ್ದು ಇಲ್ಲಿಯೇ. ಲೇಡನ್ನಿನಲ್ಲಿ ಕಳೆದ ಮೂರು ತಿಂಗಳು ಫರ್ಮಿಯ ಬದುಕಿನ ಅತ್ಯಂತ ಚೇತೋಹಾರಿ ದಿನಗಳಾಗಿದ್ದವು.

ಫರ್ಮಿ ರೋಮ್‌ಗೆ ಮರಳಿ ಬಂದ ಬಳಿಕ ಫ್ಲಾರೆನ್ಸ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ಸೇರಿಕೊಂಡ. ಕಾಕತಾಳೀಯವೆಂಬಂತೆ, ಪೀಸಾ ನಗರದಲ್ಲಿ ಸ್ನೇಹಿತನಾಗಿದ್ದ ರಾಸೆಟಿ ಕೂಡ ಅಲ್ಲಿಯೇ ಅಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿದ್ದ. ಇದರಿಂದ ಫರ್ಮಿಗೆ ತುಂಬಾ ಸಂತೋಷವಾಯಿತು. ಹಳೆಯ ಸ್ನೇಹಿತರಿಬ್ಬರೂ, ಕಳೆದ ದಿನಗಳನ್ನು ನೆನಪು ಮಾಡಿಕೊಂಡರು. ರಾಸೆಟಿಯ

ತುಂಟತನವಿನ್ನೂ ಕಡಿಮೆಯಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಎಂದಿನಂತೆ ಮಿಡತೆ, ಹಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಗಿಳಿಗಳನ್ನು ಹುಡುಕಿಕೊಂಡು ಅಲೆಯುತ್ತಲೇ ಇದ್ದ. ಈಗ ಫರ್ಮಿ ಜತೆಯಾದುದು ಆತನಿಗೆ ಹೆಚ್ಚಿನ ಬಲ ಬಂದಂತಾಗಿತ್ತು. ರಾಸೆಟಿಯೊಡನೆ ಹುಲ್ಲುಗಾವಲಿನ ಮೇಲೆ ಮಲಗಿ ಫರ್ಮಿ ಹಲ್ಲಿ, ಮಿಡತೆ, ಗಿಳಿಗಳನ್ನು ನೋಡುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಆತನ ತಲೆಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಬೇರೆಯೇ ಯೋಚನೆಗಳಿರುತ್ತಿದ್ದವು. ಲೇಡನ್ನಿನಲ್ಲಿದ್ದಾಗ ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರದ ಬಗ್ಗೆ ಹುಟ್ಟಿಕೊಂಡ ಆಸಕ್ತಿ ಬೆಳೆಯುತ್ತಲೇ ನಡೆದಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿ, ಏಕಪರಮಾಣ್ವಿಕ ಅನಿಲವು (monoatomic gas) ಅನುಸರಿಸಬಹುದಾದ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ನಿಯಮದ ಬಗ್ಗೆ ಯೋಚಿಸುತ್ತಿದ್ದನು. ಇಂತಹ ಅನಿಲದ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿ ಯಾವ ಬಗೆಯ ವಿತರಣೆಯನ್ನು ಅನುಸರಿಸಬಹುದೆಂದು ಆತ ತರ್ಕಿಸುತ್ತಿದ್ದ. ಆಗ ಗೊತ್ತಿದ್ದ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ನಿಯಮಗಳು ಇಂತಹ ವಿತರಣೆಯ ಬಗ್ಗೆ ವಿವರ ನೀಡಲು ಸಮರ್ಥವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶ ಫರ್ಮಿಯ ಹಿಡಿತಕ್ಕೆ ಸಿಕ್ಕದೆ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿತ್ತು.

ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಎರಡನೆಯ ದಶಕದ ವೇಳೆಗೆ, ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್, ನೀಲ್ಸ್ ಬೋರ್, ಸೊಮರ್‌ಫೀಲ್ಡ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ನಡೆಸಿದ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಫಲವಾಗಿ ಪರಮಾಣು ರಚನೆ ಕುರಿತು ಸ್ಪಷ್ಟವಾದ ತಿಳುವಳಿಕೆಯುಂಟಾಗಿತ್ತು. ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ ಇದ್ದು, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ವಿವಿಧ ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುತ್ತವೆ. 1925 ರ ಸುಮಾರಿಗೆ ವುಲ್ಫ್‌ಗಾಂಗ್ ಪೌಲಿ ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ತತ್ವವೊಂದನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ. ಅದು ಪೌಲಿಯ ಬಹಿಷ್ಕರಣ ತತ್ವ (Pauli's Exclusion Principle) ವೆಂದೇ ಹೆಸರಾಗಿದೆ. ಆ ತತ್ವದ ಮೇರೆಗೆ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಹೇಳಬೇಕೆಂದರೆ, ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಯಾವುದೇ ಎರಡು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳ ಶಕ್ತಿ ಒಂದೇ ಆಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಪೌಲಿಯ ಬಹಿಷ್ಕರಣ ತತ್ವ ಪ್ರಕಟವಾಗುವದೊಂದೇ ತಡ, ಫರ್ಮಿಗೆ ಸಿಕ್ಕದೆ ಇದ್ದ ಮೂಲ ನಿಯಮವೊಂದು ತಟ್ಟನೆ ಸಿಕ್ಕಿತು. ಏಕ ಪರಮಾಣ್ವಿಕ ಅನಿಲದ ಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ವಿತರಣೆ ಹೇಗಾಗಿರಬಹುದೆಂಬುದರ ಅರಿವು ಆತನಿಗೆ

ಉಂಟಾಯಿತು. ಅಂತಹ ಅನಿಲದ ಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ಎರಡು ಕಣಗಳೂ ಒಂದೇ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವುದಿಲ್ಲ ಎಂದು ಫರ್ಮಿ ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದನು. ಈ ತೀರ್ಮಾನವೇ ನಂತರದಲ್ಲಿ ಆತ ಮಂಡಿಸಿದ ಸಂಖ್ಯಾಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ತಳಹದಿಯಾಯಿತು.

ಅದೇ ಕಾಲಕ್ಕೆ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಡಿರ್‍ಯಾಕ್ ಕೂಡ ಇಂಥದೇ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿ ರೂಪಿಸಿದ್ದರು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿಧಾನವನ್ನು ಫರ್ಮಿ-ಡಿರ್‍ಯಾಕ್ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವೆಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಹಾಗೂ ಈ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವ ಅನಿಲವನ್ನು ಫರ್ಮಿ ಅನಿಲವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಂತಹ ಮೂಲ ಕಣಗಳನ್ನು ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ-ಡಿರ್‍ಯಾಕ್ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಫರ್ಮಿಯಾನುಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಬೋಸ್ - ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗುವ ಇನ್ನೊಂದು ವಿಧಾನವುಂಟು. ಕೆಲ ಕಣಗಳು ಈ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತವೆ. ಅಂಥವನ್ನು ಬೊಸಾನುಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಫರ್ಮಿ-ಡಿರ್‍ಯಾಕ್ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವು ಫರ್ಮಿಯಾನುಗಳು. ಲೋಹಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹೊತ್ತುಕೊಂಡು ಹೋಗುವ ವಾಹಕಗಳು ಕೂಡ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ. ಆದ್ದರಿಂದ ಲೋಹಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಅರಿಯಲು ಫರ್ಮಿ-ಡಿರ್‍ಯಾಕ್ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವು ಸಹಾಯ ಮಾಡುತ್ತದೆ.

ಫರ್ಮಿ, ತನ್ನ ವಿಶ್ವವಿಖ್ಯಾತ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದಾಗ, ಆತನಿಗೆ ಕೇವಲ ಇಪ್ಪತ್ನಾಲ್ಕು ವರ್ಷ. ಇಷ್ಟು ಚಿಕ್ಕ ವಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿಯೇ ಫರ್ಮಿ ಜಗತ್ತಿನ ಮಹಾವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಾಲಿನಲ್ಲಿ ಸೇರಿಹೋದ. ಆತನ ಸಾಧನೆ ಮತ್ತು ಗಳಿಸಿದ ಕೀರ್ತಿಯಿಂದ ನೇರವಾಗಿ ರೋಮ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ನೇಮಕಗೊಂಡ. ಈ ಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ಆತನಿಗೆ ಪ್ರತಿಸ್ಪರ್ಧಿಯಾಗಿದ್ದಾತ ಹಳೆಯ ಸ್ನೇಹಿತ ಪರ್ಸಿಕೊ. ಆತನಿಗೆ ಎರಡನೆಯ ಸ್ಥಾನ ದೊರೆಯಿತು. ಅನಂತರದಲ್ಲಿ ಪರ್ಸಿಕೊ ಫ್ಲಾರೆನ್ಸ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾದ. ರೋಮ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ

ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ಮುಖ್ಯಸ್ಥರಾಗಿದ್ದ. ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರಿಗೆ ತಮ್ಮ ವಿಭಾಗವನ್ನು ಉನ್ನತಮಟ್ಟಕ್ಕೊಯ್ದು, ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಒಂದು ಹೊಸ ಪರಂಪರೆಯನ್ನೇ ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕೆಂಬ ಗೀಳಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿ ರೋಮ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ಸೇರಿಕೊಂಡ ಬಳಿಕ ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರು ಫ್ಲಾರೆನ್ಸಿನಿಂದ ರಾಸೆಟಿಯನ್ನು ಕರೆತಂದು ಫರ್ಮಿಗೆ ಸಹಾಯಕನಾಗಿ ನೇಮಿಸಿದರು. ಕೇವಲ ಇಬ್ಬರು ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರು ಒಂದು ಪರಂಪರೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾರರು, ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳು ಬೇಕು. ಆಗ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳೆಲ್ಲ ಎಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ಕೋರ್ಸಿಗೆ ಸೇರಿ ಕೊಳ್ಳುತ್ತಿದ್ದರು. ಅವರಲ್ಲಿ ಎಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ಕೋರ್ಸ್ ಕಷ್ಟವೆನಿಸಿದ ಕೆಲ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳು ಮತ್ತೆ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ತರಗತಿಗಳಿಗೆ ಸೇರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿದ್ದರು. ಇಂಥವರಿಂದ ಇಟಲಿಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪರಂಪರೆ ಬೆಳೆಯಲಾರದೆಂದು ಭಾವಿಸಿದ ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರು ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ಮತ್ತು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಬಗ್ಗೆ ಆಸಕ್ತಿಯಿರುವ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳನ್ನು ಹುಡುಕಲಾರಂಭಿಸಿದರು. ಮೊದಲು ಅವರ ಕಣ್ಣಿಗೆ ಬಿದ್ದಾತ, ಎಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ಎರಡನೆಯ ವರ್ಷದಲ್ಲಿ ಓದುತ್ತಿದ್ದ ಎಡೋರ್ಡೊ ಅಮಾಲ್ಡಿ ಎಂಬ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿ, ಎರಡನೆಯಾತ ಎಮಿಲಿಯೊ ಸೆಗ್ರೆ. ಆತನು ಎಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ನಾಲ್ಕನೆಯ ವರ್ಷದಲ್ಲಿ ಓದುತ್ತಿದ್ದ. ಅಮಾಲ್ಡಿಯೇನೋ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ತರಗತಿಗೆ ಸೇರಿಕೊಂಡ. ಆದರೆ ಸೆಗ್ರೆ ಬಡಪೆಟ್ಟಿಗೆ ಒಪ್ಪಲಿಲ್ಲ. ಆತನು ಮೊದಲು ಫರ್ಮಿಯವರ ಕೆಲ ಉಪನ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಕೇಳಿದ. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ವಿಚಾರ ಸಂಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸಿದ. ಸೆಗ್ರೆ ತನ್ನ ಸಹಪಾಠಿಯಾಗಿದ್ದ ಮೆಜರೋನನೊಂದಿಗೆ ಸುದೀರ್ಘವಾಗಿ ಚರ್ಚಿಸಿದ. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುವ ಜನರಿಗೆ ತಾವು ಮಾತನಾಡುತ್ತಿರುವುದರ ಅರ್ಥ ಗೊತ್ತಿದೆ ಎಂಬುದು ಸೆಗ್ರೆಗೆ ಖಚಿತವಾಯಿತು. ಆಗ ಆತ ಎಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ಕೋರ್ಸನ್ನು ತ್ಯಜಿಸಿ, ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗವನ್ನು ಸೇರಿದ. ಹೀಗೆ ಇಬ್ಬರು ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕರು ಮತ್ತು ಇಬ್ಬರು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳು ಸೇರಿಕೊಂಡು ಇಟಲಿಯ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪರಂಪರೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿದರು. ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅವರು ಈ ನಾಲ್ವರನ್ನು ಹೆಮ್ಮೆಯಿಂದ ''ನನ್ನ ಹುಡುಗರು'' ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಿದ್ದರು.

ಸ್ವಲ್ಪ ದಿನಗಳ ಬಳಿಕ ಮೆಜರೋನ ಸಹ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗವನ್ನು

ಸೇರಿಕೊಂಡ. ಆತ ತೀರ ವಿಕ್ಷಿಪ್ತ ಸ್ವಭಾವದ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಯಾಗಿದ್ದ. ಆತ ಒಂಟಿಯಾಗಿ ಅಲೆದಾಡುವಾಗ, ಅಥವಾ ವಾಯುವಿಹಾರಕ್ಕೆ ಹೋದಾಗ ಮರದ ಮೇಲೆ ಕುಳಿತು ಯೋಚನೆಯಲ್ಲಿ ಮುಳುಗಿ ಬಿಡುತ್ತಿದ್ದ. ಕೈಯಲ್ಲಿ ಸಿಗರೇಟಿನ ಡಬ್ಬವಿದ್ದರೆ, ಅದರ ಮೇಲೆಯೇ ತನ್ನ ಯೋಚನೆಗಳನ್ನು ಬರೆದು ಬಿಡುತ್ತಿದ್ದ. ರಾಸೆಟಿ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿ ಅವರು ಮೆಜರೋನನಿಗೆ ಇಂತಹ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ಕ್ರಮಬದ್ಧವಾಗಿ ಬರೆದು ಪ್ರಕಟಿಸುವಂತೆ ಹೇಳಿ ನೋಡಿದರು. ಆದರೆ ಆತನ ಸ್ವಭಾವ ಬದಲಾಗಲಿಲ್ಲ. ಮೆಜರೋನ ಅದ್ಭುತ ಪ್ರತಿಭಾವಂತ. ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಮಂಡಿಸಿದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ರಚನೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಮೊದಲೇ ಯೋಚಿಸಿದ್ದ. ಆದರೆ ಆತನ ಕೆಲಸದಲ್ಲಿ ಶಿಸ್ತು ಇಲ್ಲದೆ ಹೋದ್ದುದಕ್ಕೆ ಅನೇಕ ಅವಕಾಶಗಳಿಂದ ವಂಚಿತನಾದ. ಆತ ಫರ್ಮಿಯವರ ವಿಚಾರಧಾರೆಯಲ್ಲಿದ್ದ ಎಷ್ಟೋ ದೋಷಗಳನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಡುತ್ತಿದ್ದ. ಮೆಜರೋನನ ಕುಟುಂಬದಲ್ಲಿ ಒಂದು ದುರಂತ ನಡೆದು, ಅದು ಆತನ ಮೇಲೆ ಗಂಭೀರ ಪರಿಣಾಮ ಬೀರಿತು. ಅದರಿಂದ ಆತ ಕೊನೆಯವರೆಗೆ ಹೊರಬರಲೇ ಇಲ್ಲ. ಅಕಾಲದಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಜೀವನವನ್ನು ತಾನೇ ಕೊನೆಗಾಣಿಸಿಕೊಂಡ. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೊಂದು ಉತ್ತಮ ಕೊಡುಗೆ ಕೊಡಬಹುದಾಗಿದ್ದ ಪ್ರತಿಭಾವಂತನ ಜೀವನ ಹೀಗೆ ಕೊನೆಗೊಂಡದ್ದು ಒಂದು ದುರಂತವೇ ಸರಿ.

1924ರಲ್ಲಿ ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲಿಗೆ ಫರ್ಮಿ, ತಾನು ಮುಂದೆ ಮದುವೆಯಾಗಲಿದ್ದ ಲಾರಾ ಎಂಬ ಹುಡುಗಿಯನ್ನು ಭೇಟಿಯಾದ. ಆಗ ಫರ್ಮಿ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿದ್ದ. ಆತನಿಗೆ ಕೇವಲ ಇಪ್ಪತ್ಮೂರು ವರ್ಷ. ಲಾರಾಳಿಗೆ ಹದಿನಾರು ವರ್ಷ. ಇಷ್ಟು ಚಿಕ್ಕ ವಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿಯೇ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿದ್ದ ಫರ್ಮಿಯ ಪ್ರತಿಭೆಯಿಂದ ಲಾರಾ ಆಕರ್ಷಿತಳಾದಳು. ಅನಂತರ ಅವರು ಭೇಟಿಯಾದದ್ದು ಎರಡು ವರ್ಷಗಳ ಬಳಿಕ. 1926ರ ಬೇಸಿಗೆಯಲ್ಲಿ ಲಾರಾಳ ಕುಟುಂಬದವರು ವಿಹಾರಕ್ಕೆ ಹೊರಟಿದ್ದರು. ಆಗ ಫರ್ಮಿ ಸಹ ಅವರೊಂದಿಗಿದ್ದ. ಲಾರಾಳ ತಂದೆ ಇಟಲಿಯ ನೌಕಾ ಸೇನೆಯಲ್ಲಿ ಅಧಿಕಾರಿಯಾಗಿದ್ದ. ಫರ್ಮಿ ಕೆಥೋಲಿಕ್ ಧಾರ್ಮಿಕ ಸಂಪ್ರದಾಯಕ್ಕೆ ಸೇರಿದ್ದರೆ, ಲಾರಾ ಯಹೂದಿಯಾಗಿದ್ದಳು. ಹೀಗೆ ಅವರು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಧಾರ್ಮಿಕ ಸಂಪ್ರದಾಯಗಳಿಗೆ ಸೇರಿದ್ದರೂ, ಅವರ

ಮದುವೆಗೆ ಹಿರಿಯರ ಒಪ್ಪಿಗೆ ದೊರೆಯಿತು. ಆದರೆ ಮದುವೆ ಧಾರ್ಮಿಕ ಸಂಪ್ರದಾಯದಂತೆ ನಡೆಯದೆ, ರೋಮ್‌ನ ಪುರಭವನದಲ್ಲಿ ನಡೆಯಿತು. 1928ರ ಜುಲೈ 19 ರಂದು ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಲಾರಾ ದಂಪತಿಗಳಾದರು. ಅವರಿಗೆ ಇಬ್ಬರು ಮಕ್ಕಳಾದರು; ಮೊದಲನೆಯವಳು ನೆಲ್ಲಾ, ಎರಡನೆಯವನು ಗಿಯುಲಿಯೊ. ಮಕ್ಕಳನ್ನು ಬೆಳೆಸುವುದು, ಮನೆಯ ಅಲಂಕಾರ, ನಿರ್ವಹಣೆ ಮುಂತಾದ ಕೆಲಸಗಳ ಸಂಪೂರ್ಣ ಜವಾಬ್ದಾರಿ ಲಾರಾಳ ಮೇಲೆಯೇ ಬಿದ್ದಿತು. ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ, ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆ, ಅಧ್ಯಯನ ಮತ್ತು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸಾಕಷ್ಟು ಅಚ್ಚುಕಟ್ಟು ಮತ್ತು ಶಿಸ್ತಿನವನಾಗಿದ್ದ. ಆದರೆ ಲೌಕಿಕ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ತೀರಾ ನಿರಾಸಕ್ತ. ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದೆರಡು ಉದಾಹರಣೆಗಳನ್ನು ಕೊಡಬಹುದು.

ಫರ್ಮಿಯ ಮದುವೆಯ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಬಂಧು ಬಳಗವೆಲ್ಲ ನೆರೆದಿದ್ದರು. ಫರ್ಮಿಯ ಅಕ್ಕ ಬಂದಿದ್ದಳು. ಲಾರಾಳ ತಂದೆ - ತಾಯಿ ಇತರ ಬಂಧುಗಳೆಲ್ಲ ಬಂದು ಎಷ್ಟೋ ಹೊತ್ತು ಕಳೆದಿದ್ದರೂ ಫರ್ಮಿಯ ಪತ್ತೆಯೇ ಇಲ್ಲ. ತುಂಬ ಹೊತ್ತಾದ ನಂತರ ಕೊನೆಗೂ ಬಂದ. ವಿಳಂಬಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನು ಗೊತ್ತೇ ? ಮದುವೆಯ ಸಮಾರಂಭಕ್ಕಾಗಿ ಫರ್ಮಿ ಹೊಲಿಸಿಕೊಂಡ ಷರಟಿನ ತೋಳುಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಉದ್ದವಾಗಿದ್ದವಂತೆ. ಅವನ್ನು ತಾನೇ ಕತ್ತರಿಸಿ ಹೊಲಿದುಕೊಂಡು ಬರಲು ವಿಳಂಬವಾಯಿತಂತೆ.

ಮದುವೆಯ ಉಡುಗೊರೆಯಾಗಿ ಲಾರಾಳ ತಂದೆ ಮಗಳಿಗೆ ಮನೆಯೊಂದನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿದ್ದರು. ಮದುವೆಯ ನಂತರ ಫರ್ಮಿ ದಂಪತಿಗಳು ಆ ಮನೆಯಲ್ಲಿಯೇ ತಮ್ಮ ಬದುಕನ್ನಾರಂಭಿಸಿದರು. ಮನೆಯ ಒಳ ಅಲಂಕಾರ ಮತ್ತು ಪೀಠೋಪಕರಣಗಳ ಕುರಿತು, ಲಾರಾ ಎನ್ರಿಕೊನ ಸಲಹೆ ಕೇಳಿದಳು. ಆಗ ಎನ್ರಿಕೊ ಆಕೆ ಕೇಳಿದಷ್ಟು ಹಣ ಕೊಟ್ಟು, ''ನಿನ್ನ ಮೇಜು - ಕುರ್ಚಿಗಳ ವಿನ್ಯಾಸ ಹೇಗೇ ಇರಲಿ, ಅವುಗಳ ಕಾಲುಗಳು ನೆಟ್ಟಗಿದ್ದರೆ ಸಾಕು'' ಎಂದುಬಿಟ್ಟ.

3. ಸಾಧನೆ - ಸಂಶೋಧನೆ

ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಮೊದಲ ಐದು ದಶಕಗಳ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಚರಿತ್ರೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಸುವರ್ಣಕಾಲವೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಅತ್ಯಂತ ಮಹತ್ವದ ಆವಿಷ್ಕಾರಗಳು, ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆದವು. ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಆರಂಭವಾದದ್ದು, 19ನೆಯ ಶತಮಾನದ ಕೊನೆಯ ದಶಕದಲ್ಲಿ ನಡೆದ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವದ ಆವಿಷ್ಕಾರದೊಂದಿಗೆ.

ನೈಸರ್ಗಿಕ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವ (Natural Radioactivity)

1896ರಲ್ಲಿ ಫ್ರಾನ್ಸಿನ ಹೆನ್ರಿಬೆಕ್ಟೆರೆಲ್, ಯುರೇನಿಯಂ ಲವಣವು ಸ್ವಯಂ ಸ್ಫೂರ್ತಿಯಿಂದ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿದ. ಕೆಲ ಭಾರವಾದ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಯಾವುದೇ ಬಾಹ್ಯ ಪ್ರಚೋದನೆಯಿಲ್ಲದೆ, ಸಹಜವಾಗಿಯೇ ಈ ಗುಣವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. ಅಂತಹ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳೆಂದೂ, ಮತ್ತು ಆ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು - ನೈಸರ್ಗಿಕ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವವೆಂದೂ ಕರೆದರು. ಯಾವುದೇ ಭೌತಿಕ ಅಥವಾ ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಭಾವ ಬೀರಲಾರವು. ಹೀಗೆ ಉತ್ಸರ್ಜಿತ ವಿಕಿರಣಕ್ಕೆ ಅನಿಲವನ್ನು ಅಯಾನೀಕರಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವುದನ್ನೂ ಸಹ ಬೆಕ್ಟೆರೆಲ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದ. ನಂತರದ ಎರಡು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ ಮೇ, 1898 ರಲ್ಲಿ ಪಿಯರಿ ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಮೇರಿ ಕ್ಯೂರಿ ಪೊಲೋನಿಯಂ ಮತ್ತು ರೇಡಿಯಂ ಎಂಬ ಎರಡು ಹೊಸ ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿದರು. 1900 ರಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಡೆಬೈರ್ನ್ ಆಕ್ಟಿನಿಯಂ ಎಂಬ ಇನ್ನೊಂದು ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮೂಲ ವಸ್ತುವನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿದ.

ಈ ಮಧ್ಯೆ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮೂಲ ವಸ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ವಿಕಿರಣದ ವಿವರವಾದ ಅಧ್ಯಯನ ನಡೆಸಿದ. ವಿದ್ಯುದ್ದರ್ಶಕ (Electroscope)ವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ವಿಕಿರಣ

ಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿದ ವಿಕಿರಣಗಳ ಅಯಾನೀಕರಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡಿದ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಆತನು ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದರ್ಶಕದ ನಡುವೆ ಲೋಹದ ಪರದೆಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದ. ಇವು ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿದ್ದವು. ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ, ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ವಿಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧಗಳಿರುವುದನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿದ. ಒಂದನ್ನು ಅಲ್ಫಾ ಕಿರಣಗಳೆಂದೂ ಮತ್ತೊಂದನ್ನು ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳೆಂದೂ ಕರೆದ. ವಸ್ತುಗಳು ಅಲ್ಫಾ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸುಲಭವಾಗಿ ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಅವುಗಳ ಅಯಾನೀಕರಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವೂ ಹೆಚ್ಚು. ಅಲ್ಫಾ ಮತ್ತು ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳ ಇನ್ನೊಂದು ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವೆಂದರೆ, ಅವು ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶಿಸಿ ಚಲಿಸಬಲ್ಲವು. ಈ ಸಾಮರ್ಥ್ಯಕ್ಕೆ ಅಂತಃಕ್ರಮಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ (Penetrating Power) ವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳ ಅಂತಃಕ್ರಮಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಅಲ್ಫಾ ಕಿರಣಗಳ ಸಾಮರ್ಥ್ಯಕ್ಕಿಂತಲೂ ನೂರು ಪಾಲು ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಒಂದು ವರ್ಷದ ತರುವಾಯ ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್, ರೇಡಿಯಮ್, ಅಲ್ಫಾ ಮತ್ತು ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳನ್ನಲ್ಲದೆ, ಇನ್ನೊಂದು ಬಗೆಯ ವಿಕಿರಣವನ್ನೂ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆಂದು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ಅದನ್ನು ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ಅಂತಃಕ್ರಮಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ, ಅಲ್ಫಾ ಮತ್ತು ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತಲೂ ಬಹಳಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು. ಈ ಮೂರೂ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೊಳಪಡಿಸಿ, ಅವುಗಳ ಗುಣಧರ್ಮಗಳನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿದರು. ಆಗ ಅಲ್ಫಾ ಮತ್ತು ಬೀಟಾ ಕಿರಣಗಳು ಕಿರಣಗಳಲ್ಲ; ಅವು ಕಣಗಳೆಂಬುದು ಪತ್ತೆಯಾಯಿತು. ಆದರೆ ಗಾಮಾ ವಿಕಿರಣ ಮಾತ್ರ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ತರಂಗಗಳು. ಅಲ್ಫಾ ಕಣವು ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟವಾಗಿದ್ದು ಅದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಬೀಟಾ ಕಣಗಳು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಲ್ಲದೇ ಬೇರೆಯಲ್ಲ. ಅವು ಋಣವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ಕಣಗಳು.

ನೈಸರ್ಗಿಕ ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತ ಹೋಗುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ

ಕಡಿಮೆಯಾಗುವುದು ಸಹಜವಷ್ಟೆ; ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯು ಅರ್ಧ ಗ್ರಾಮಿಗಿಳಿಯಲು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುವ ಕಾಲಾವಧಿಯನ್ನು ಆ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಅರ್ಧಾಯು (Half Life Period) ವೆಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ವಿವಿಧ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಈ ಅರ್ಧಾಯು ಕೆಲ ಸೆಕೆಂಡುಗಳಿಂದ ಮೊದಲುಗೊಂಡು ಅನೇಕ ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳವರೆಗಿರುತ್ತದೆ.

1900ರಲ್ಲಿಯೇ ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಇನ್ನೊಂದು ಮಹತ್ವಸಂಗತಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ. ಅದೇನೆಂದರೆ ಥೋರಿಯಂ ಮೂಲವಸ್ತುವು ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಥೊರಾನ್ ಎಂಬ ವಿಕಿರಣಪಟು ಅನಿಲವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆಂಬುದು. ಅನಂತರ ಕ್ಯೂರಿ ದಂಪತಿಗಳು ರೇಡಿಯಂ ಮೂಲವಸ್ತುವು ರೆಡಾನ್ ಎಂಬ ವಿಕಿರಣಪಟು ಅನಿಲವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟರು. ಈ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಮುಂದೆ ಫರ್ಮಿ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಸಮರ್ಥವಾಗಿ ಬಳಸಿಕೊಂಡ.

ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಮುಂದಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಮಹತ್ವದ ಆಕರಗಳಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದವು. 1906ರಲ್ಲಿ ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು ಚದುರಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಕೈಗೊಂಡ.

ಆಲ್ಫಾ ಕಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆ (Scattering of α-particles)

ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಒಂದು ಒತ್ತಾದ ಸೀಳುಗಂಡಿ (Slit) ಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು, ಛಾಯಾಗ್ರಾಹಕ ಫಲಕದ ಮೇಲೆರಗುವಂತೆ ಏರ್ಪಾಟು ಮಾಡಿದ. ಇಡೀ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಒಂದು ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯೊಳಗೆ ಅಳವಡಿಸಿದ. ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯನ್ನು ನಿರ್ವಾತಗೊಳಿಸಿದಾಗ, ಛಾಯಾಗ್ರಾಹಕ ಫಲಕದ ಮೇಲೆ ಸೀಳುಗಂಡಿಯ ಸ್ಪಷ್ಟ ಪ್ರತಿಬಿಂಬವು ಮೂಡುತ್ತಿತ್ತು. ಒಂದು ವೇಳೆ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯಲ್ಲಿ ಅನಿಲವನ್ನು ತುಂಬಿದರೆ ಅಥವಾ ಸೀಳುಗಂಡಿಯನ್ನು ತೆಳುವಾದ ಲೋಹದ ಹಾಳೆಯಿಂದ ಮುಚ್ಚಿದರೆ, ಸೀಳುಗಂಡಿಯ ಪ್ರತಿಬಿಂಬದ ಅಂಚುಗಳು ಅಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿರುತ್ತಿದ್ದವು. ಅನಿಲ

ಅಥವಾ ಲೋಹದ ಹಾಳೆಯಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳು ಆಲ್ಫಾ ಕಣಗಳನ್ನು ಚದುರಿಸುವುದೇ ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣ. ಈ ಪ್ರಯೋಗ ಪರಮಾಣು ರಚನೆಯ ಮಹತ್ವದ ಸಿದ್ಧಾಂತವೊಂದಕ್ಕೆ ದಾರಿ ಮಾಡಿಕೊಟ್ಟಿತು.

ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್‌ನ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳಾದ ಗ್ರೆಗರ್ ಮತ್ತು ಮಾರ್ಸ್ಡೆನ್ 1909ರಲ್ಲಿ ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದರು. ಅವರು ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು, ಚಿನ್ನ, ಪ್ಲಾಟಿನಂ ನಂತಹ ಭಾರ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಹಾಳೆಗಳಿಂದ ಚದುರಿಸಿದರು. ಅವರು ತೆಗೆದುಕೊಂಡ ಚಿನ್ನದ ಹಾಳೆ ಎಷ್ಟು ತೆಳುವಾಗಿತ್ತೆಂದರೆ, ಅದರ ದಪ್ಪ 4 x 10^{-5} ಸೆಂಟಿಮೀಟರುಗಳಾಗಿತ್ತು. ಅದರೆಡೆಗೆ 20,000 ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು ಕಳಿಸಿದಾಗ, ಒಂದು ಮಾತ್ರ 90ಡಿಗ್ರಿ ಕೋನವನ್ನುಂಟುಮಾಡಿ ಚದುರಿತ್ತು. ಅನೇಕ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಬಂದದಾರಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಹಿಂತಿರುಗಿದ್ದವು. ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಬಂದ ದಿಕ್ಕಿಗೆ ವಿಶಾಲಕೋನವನ್ನುಂಟುಮಾಡಿ ಚದುರಿದ್ದವು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸುವುದಕ್ಕೋಸ್ಕರ, ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪರಮಾಣು ರಚನೆ ಕುರಿತು ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಮಂಡಿಸಿದ. ಆತನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮೇರೆಗೆ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿದ್ದು, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಸುತ್ತುತ್ತಿರುತ್ತವೆ. ಆಲ್ಫಾಕಣವು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ತೀರ ಸಮೀಪ ಹೋದಾಗ, ಅವೆರಡೂ ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟವಾದ್ದರಿಂದ, ವಿಕರ್ಷಣ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆದು, ವಿಶಾಲ ಕೋನದೊಂದಿಗೆ ಚದುರುತ್ತದೆ. ಒಂದು ವೇಳೆ ಆಲ್ಫಾಕಣದ ಪಥ ನೇರವಾಗಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನೆಡೆಗೆಯೇ ಇದ್ದರೆ, ಅದು ಬಂದದಾರಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಹಿಂತಿರುಗುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಿಂದ ದೂರದಲ್ಲಿ ಆಲ್ಫಾಕಣ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಅದು ತನ್ನ ಪಥಕ್ಕೆ ಅಲ್ಪಕೋನವನ್ನುಂಟುಮಾಡಿ ಚದುರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆಯ ಪ್ರಯೋಗ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ರೂಪವನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿತು.

ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ರಚನೆ ಕುರಿತು ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳ

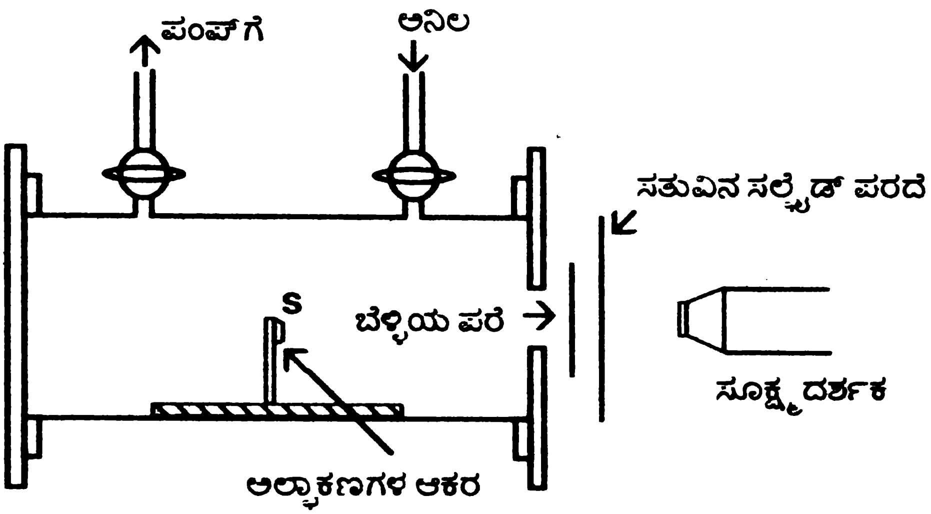
ಚದರುವಿಕೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಸಮಯದಲ್ಲಿಯೇ ಅಂದರೆ 1900ರಲ್ಲಿಯೇ ಜರ್ಮನಿಯ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್ ಪ್ಲಾಂಕ್ ವಿಕಿರಣದ ಸ್ವರೂಪ ಕುರಿತಂತೆ ಹೊಸ ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿರದೆ, ಶಕ್ತಿಯ ವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಕಟ್ಟುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಕಟ್ಟನ್ನು ಕ್ವಾಂಟಂ ಎಂದು ಕರೆದನು. ಶಕ್ತಿಯ ಕ್ವಾಂಟಂಗೆ ಫೋಟಾನ್ ಎಂದೂ ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಗಾಮಾಕಿರಣ, ಎಕ್ಸ್‌ಕಿರಣ, ನೇರಳಾತೀತ, ಹಿರಿಗೆಂಪು ಮತ್ತು ದೃಷ್ಟಿಗೋಚರ ಬೆಳಕು, ಇವೆಲ್ಲವೂ ಫೋಟಾನುಗಳ ಪ್ರವಾಹವಾಗಿರುತ್ತವೆಂದು ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್, ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಿದ ಮತ್ತು ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಬಳಸಿ, ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಪರಿಣಾಮ (Photoelectric effect) ವನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ವಿವರಿಸಿದ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್‌ಗೆ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಸಹ ದೊರೆಯಿತು. 19 13ರ ಸುಮಾರಿಗೆ ಡೆನ್ಮಾರ್ಕಿನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ನೀಲ್ಸ್ ಬೋರ್, ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ವಿವರಿಸಿದ. ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಅನಿಲದ ರೋಹಿತ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ತನ್ನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮೂಲಕ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ವಿವರಿಸಿದ. ಸೊಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್, ಬೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಒಂದಿಷ್ಟು ತಿದ್ದುಪಡಿ ತಂದ. ಪ್ಲಾಂಕ್, ಬೊರ್, ಸೊಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ ಮುಂತಾದವರ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ರೋಹಿತಶಾಸ್ತ್ರ (spectroscopy) ವೆಂಬ ಹೊಸ ಶಾಖೆಯನ್ನೇ ಆರಂಭಿಸಿದವು. ಹೀಗೆ ವಿವಿಧ ದಿಕ್ಕುಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣು ರಚನೆಯನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ವಿವರಿಸುವ ಯತ್ನಗಳು ನಡೆದವು.

ನೈಸರ್ಗಿಕ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಅಲ್ಫಾ ಮತ್ತು ಬೀಟಾ ಕಣಗಳು ಹೇರಳವಾಗಿ ದೊರೆಯುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳಿಂದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಮೂಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸುವುದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನು ಸಹ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ನಡೆಸಿದರು.

ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ವಿಘಟನೆ

ಪ್ರಥಮ ಜಾಗತಿಕ ಯುದ್ಧಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಮೊದಲು ಮಾರ್ಸ್‌ಡೆನ್ ಒಂದು

ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಗೊಂಡ. ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಹವೆಯಲ್ಲಿ ಕೆಲ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ದೂರವನ್ನು ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ದೂರ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಅದನ್ನು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿ (Range) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಮಾರ್ಸ್ಡೆನ್ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದ. ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಘಟ್ಟಿಸಿದ ತರುವಾಯ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ನಾಲ್ಕರಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ದೂರ ಚಲಿಸಿದವು. ಹೀಗೆ ಚಲಿಸಿದ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆಗೊಳಪಡಿಸಿದಾಗ ಅವು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಾಗಿರುವುದು ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ಯುದ್ಧ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೆಲ್ಲ ಯುದ್ಧ-ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧ ಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ತೊಡಗಿದ್ದರಿಂದ, ಈ ದಿಸೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಕುಂಠಿತಗೊಂಡವು. ಯುದ್ಧಾನಂತರ ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪುನಃ ಇತ್ತ ತನ್ನ ಗಮನ ಹರಿಸಿದ. ಆತ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ನಿನ ಬದಲಾಗಿ ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಅನಿಲದಲ್ಲಿ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಿದ. ಆಗಲೂ ಕೂಡ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಹೊರಬಂದವು. ಅಂದರೆ ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಆಕ್ಸಿಜನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆಂದು ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದ. ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕಾಗಿ ಬಳಸಿದ ಉಪಕರಣದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ (3. 1) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಅದರಲ್ಲಿ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳ ಆಕರವನ್ನು ಒಂದು ಪಾತ್ರೆಯ ಮಧ್ಯೆ ಇರಿಸಲಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಅದನ್ನು S ನಿಂದ ಸೂಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಅದಕ್ಕೆ ನೇರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ರಂಧ್ರವಿದ್ದು, ರಂಧ್ರವನ್ನು ಬೆಳ್ಳಿಯ ಪರೆ ಮತ್ತು ಸತುವಿನ ಸಲ್ಫೈಡ್ ಪರದೆಯಿಂದ ಮುಚ್ಚಲಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಬೆಳ್ಳಿಯ ಪರೆಯು ತನ್ನ ಮೇಲೆರಗಿದ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವಷ್ಟು ದಪ್ಪವಿರುತ್ತದೆ. ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿ ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ತುಂಬಿ ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಗೊಂಡಾಗ ಸತುವಿನ ಪರದೆಯ ಮೇಲೆ ಮಿನುಗುಗಳು (scintillations) ಕಂಡವು. ರುದರ್‌ಫರ್ಡನಿಗೆ ಅಚ್ಚರಿಯಾಯಿತು. ಯಾಕೆಂದರೆ ಬೆಳ್ಳಿಯ ಪರೆಯನ್ನು ದಾಟಿ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಸತುವಿನ ಪರದೆಯನ್ನು ತಲುಪುವಂತಿಲ್ಲ. ಹಾಗಾದರೆ ಈ ಮಿನುಗುಗಳನ್ನುಂಟುಮಾಡಿದ ಕಣಗಳು ಯಾವುವು?



ಚಿತ್ರ : 3. 1
ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಕೃತಕ ವಿಘಟನೆಗೆ ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಬಳಸಿದ ಉಪಕರಣ

ನೈಟ್ರೋಜನ್ನಿನ ಬದಲಾಗಿ ಆಕ್ಸಿಜನ್ ಅಥವಾ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ತುಂಬಿದರೆ ಮಿನುಗುಗಳು ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳು ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗಿ, ಬೆಳ್ಳಿಯ ಪರೆಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು, ಸತುವಿನ ಪರದೆಯ ಮೇಲೆ ಮಿನುಗುಗಳನ್ನು ಮೂಡಿಸಿದ ಕಣಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಪರಿಶೀಲಿಸಲಾಯಿತು. ಅವು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳೆಂಬುದು ($_1H^1$) ಖಚಿತವಾಯಿತು. ರುದರ್‌ಫರ್ಡ್ ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಸೂಚಿಸಿದರು.

$$_7N^{14} + {}_2He^4 \rightarrow ({}_9F^{18}) \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1 + Q$$

Q ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಜರ್ಮನಿ, ಫ್ರಾನ್ಸ್ ಮತ್ತು ಇಂಗ್ಲೆಂಡುಗಳಲ್ಲಿ ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ಕುರಿತು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಭರದಿಂದ ನಡೆದಿದ್ದಾಗ, 1930ರಲ್ಲಿ ಇನ್ನೊಂದು ಹೊಸ ಮೂಲಕಣದ ಆವಿಷ್ಕಾರವಾಯಿತು. ಅದೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರ

1919ರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಕೃತಕ ರೀತಿಯಿಂದ ವಿಘಟಿಸುವುದಕ್ಕೋಸ್ಕರ ನಡೆಸಿದ ಅನೇಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತಿದ್ದವು. ಆದರೆ ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ವಿವರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದೇ ಹೋದ ಕಾರಣ 1930ರ ವರೆಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ. 1930ರಲ್ಲಿ ಬೊಥೆ ಮತ್ತು ಬೆಕರ್ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ಬೆರಿಲಿಯಂ ಅನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಅಂತಃಕ್ರಮಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತಿರುವುದನ್ನು ಅವರು ಕಂಡರು. ಅದು ವಿದ್ಯುದ್ರಹಿತವಾದ್ದರಿಂದ ಅತ್ಯಂತ ಶಕ್ತಿಶಾಲಿಯಾದ ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಅವರು ತರ್ಕಿಸಿದರು. ಮತ್ತು ಆ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಟ್ಟ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಸೂಚಿಸಿದರು.

$$_4Be^9 + {}_2He^4 \rightarrow ({}_6C^{13}) \rightarrow {}_6C^{13} + h\nu$$

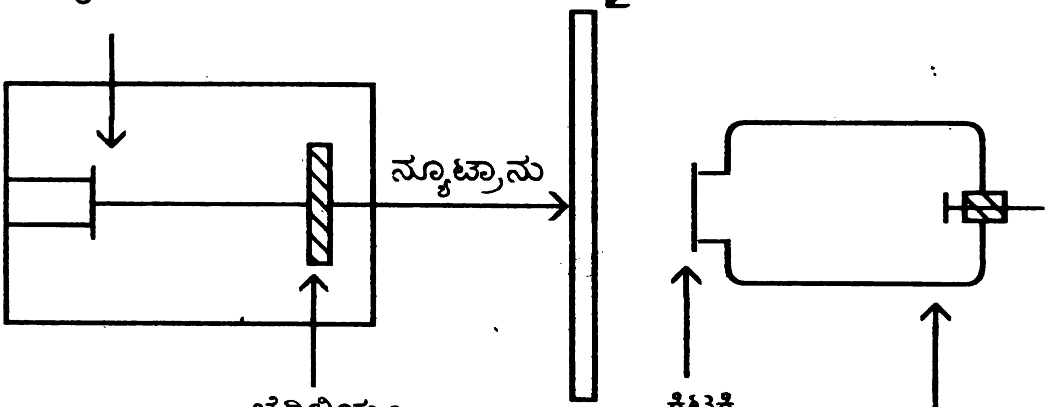
ಆದರೂ ಅವರಿಗೊಂದು ಸಂದೇಹ ಉಳಿದೇ ಇತ್ತು. ಅದೇನೆಂದರೆ, ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಆಕರವೇ ಗಾಮಾಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸಹ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿರಬಹುದಲ್ಲ! ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಅವರು ಗಾಮಾಕಿರಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸದೇ ಇರುವಂತಹ ವಿಕಿರಣಪಟು ಪೊಲೋನಿಯಂ ಅನ್ನು ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳ ಆಕರವಾಗಿ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರು. ಆದಾಗ್ಯೂ ಪ್ರಯೋಗದ ಫಲಿತಾಂಶದಲ್ಲಿ ಏನೂ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವಿಸುವ ವಿಕಿರಣವು ಗಾಮಾಕಿರಣವೇ ಎಂಬುದು ಖಚಿತವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಅದನ್ನು ಸೀಸದ ಗಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿ ಅದರ ಶೋಷಣ ಗುಣಾಂಕ (Absorption coefficient)ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಅದರ ಆಧಾರದ ಮೇಲಿಂದ ಆ ವಿಕಿರಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಿದಾಗ ಅದು 7 ಮಿಲಿಯನ್

ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ವೋಲ್ಟ್ (MeV) ಗಳಷ್ಟು ದೊರೆಯಿತು. ಆಗಿನ ತಿಳುವಳಿಕೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಇಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯ ಗಾಮಾಕಿರಣಗಳಿರುವುದು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಹಾಗಾದರೆ ಈ ಅಜ್ಞಾತ ವಿಕಿರಣದ ಸ್ವರೂಪವೇನು? ಹೀಗೆಯೇ ಸಂಶೋಧನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದೆರಡು ವರ್ಷ ಕಳೆಯಿತು. ಕ್ಯೂರಿ ದಂಪತಿಗಳು ಮತ್ತು ಕ್ಯೂರಿ- ಜ್ಯೂಲಿಯೋ ಅವರು ಅಯಾನೀಕರಣ ಮಂದಿರದಿಂದ (Ionisation Chamber) ಈ ವಿಕಿರಣದ ತೀವ್ರತೆಯನ್ನಳೆದರು. ಒಂದು ವೇಳೆ ಈ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಅಯಾನೀಕರಣ ಮಂದಿರಕ್ಕೆ ಕಳಿಸುವ ಪೂರ್ವದಲ್ಲಿ ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣ ಅಥವಾ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಇರುವ ಬೇರಾವುದೇ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿದರೆ ಅದರ ಅಯಾನೀಕರಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಮತ್ತಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚುವುದನ್ನು ಕಂಡರು. ಮತ್ತು ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತಿದ್ದವು. ಒಂದು ವೇಳೆ ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಿಗೆ ತಮ್ಮ ಶಕ್ತಿನೀಡಿದ್ದರೆ, ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದ ಮೇರೆಗೆ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 55ಮಿಲಿಯನ್ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಷ್ಟಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ ಶೋಷಣ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಶಕ್ತಿಯ ಎಂಟುಪಟ್ಟು. ಆದರೆ ಅದೇ ವಿಕಿರಣದ ಶಕ್ತಿ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದರೂ ಅಷ್ಟೇ ಬರಬೇಕು. ಅದರ ಬದಲಾಗಿ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಬಂದರೆ, ಅದು ವಿರೋಧಾಭಾಸವಲ್ಲವೇ?

1932ರಲ್ಲಿ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಜೇಮ್ಸ್ ಚಾಡ್ವಿಕ್ ಈ ವಿರೋಧಾಭಾಸಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲು ಮತ್ತೆ ಮತ್ತೆ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದ. ಆತನು ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಬಳಸಿದ ಉಪಕರಣದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 3.2ರಲ್ಲಿ ಕೊಟ್ಟಿದೆ. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದಂತೆ ನಿರ್ವಾತ ಮಂದಿರದಲ್ಲಿ ಇರಿಸಲಾದ ಪೊಲೊನಿಯಂ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿದ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಬೆರಿಲಿಯಂ ಫಲಕವನ್ನು ತಾಡಿಸುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದ. ಆಗ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ಗರಿಷ್ಠ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಅಳತೆಮಾಡಿದ.

ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣ ಮತ್ತು ಅಯಾನೀಕರಣ ಮಂದಿರದ ಮಧ್ಯೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದಪ್ಪದ ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಹಾಳೆಗಳನ್ನಿಟ್ಟು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದ.

ಮತ್ತೊಮ್ಮೆ ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣದ ಬದಲಾಗಿ ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಕೂಡಿದ ಗಟ್ಟಿಗಳನ್ನಿರಿಸಿ ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಗೊಂಡನು. ಆಗಂತೂ ಸಂಪೂರ್ಣ ಅಸಂಬದ್ಧ ಫಲಿತಾಂಶ ದೊರೆಯಿತು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿಕಿರಣವು ಗಾಮಾಕಿರಣಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಆವೇಗ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ನಿತ್ಯತ್ವ ನಿಯಮಗಳ ಸ್ಪಷ್ಟ ಉಲ್ಲಂಘನೆಯಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಚಾಡ್ವಿಕ್ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲ, ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಹೊಸ ಮೂಲ ಕಣ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುತ್ತಿರಬೇಕೆಂದು ತರ್ಕಿಸಿದ.



ಚಿತ್ರ 3. 2 : ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರಕ್ಕೆ ಚಾಡ್ವಿಕ್ ಬಳಸಿದ ಉಪಕರಣ

ಅದು ವಿದ್ಯುದ್ರಹಿತವಿರಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ ಅದು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಯಾವುದೇ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತಿಲ್ಲ. ಅದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಒಂದು ಏಕಮಾನವಾಗಿರಬೇಕು. ಅದಕ್ಕೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಕರೆದ. ಮತ್ತು ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ

ಸೂಚಿಸಿದ.

$$_{4}Be^{9} + {}_{2}He^{4} \rightarrow ({}_{6}C^{13}) \rightarrow {}_{6}C^{12} + {}_{0}n^{1}$$

ಈ ಸಮೀಕರಣವು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿದ್ದು, ಆವೇಗ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ನಿತ್ಯತ್ವ ನಿಯಮಗಳನ್ನೂ ಸಹ ಸಮರ್ಥಿಸಿತು. ಇತರ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದಾಗ, ಅವು ಚಾಡ್ವಿಕ್‌ನ ಊಹೆಯನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಿದವು.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರದ ನಂತರವೂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಕೃತಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವಿಘಟಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆದೇ ಇದ್ದವು. 1934ರಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಒಂದು ಮಹತ್ವದ ಆವಿಷ್ಕಾರಕ್ಕೆ ದಾರಿಮಾಡಿಕೊಟ್ಟವು. ಅದೇ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವ

ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವ (Artificial Radioactivity)

ಈ ವಿದ್ಯಮಾನ 1934ಕ್ಕಿಂತಲೂ ಮೊದಲು ಅನೇಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಂಡಿರಬೇಕು. ಆದರೆ ಅದನ್ನು ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲು ಗುರುತಿಸಿದವರು ಫ್ರಾನ್ಸಿನ ಐರೀನ್ ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಜ್ಯೂಲಿಯೋ. ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಮತ್ತು ಬೋರಾನ್ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅವು ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತಿದ್ದವು. ಈ ವಿದ್ಯಮಾನದಲ್ಲಿ ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಜ್ಯೂಲಿಯೋ ಒಂದು ವೈಚಿತ್ರ್ಯವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರು. ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಮತ್ತು ಬೊರಾನ್ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು, ಅವನ್ನು ತಾಡಿಸುವ ಅಲ್ಫಾ ಕಣಗಳ ಆಕರವನ್ನು ತೆಗೆದು ಹಾಕಿದ ನಂತರವೂ ಅವು ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸುತ್ತಿದ್ದವು. ಹೀಗೆ ಮುಂದುವರಿಯುವ ಕ್ರಿಯೆ ಯಾದೃಚ್ಛಿಕವಾಗಿರದೆ, ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ನಿಯಮಕ್ಕೊಳಪಟ್ಟಿರುತ್ತಿತ್ತು. ಅವುಗಳ ಚಟುವಟಿಕೆ, ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವದಂತೆಯೇ ಕಾಲದೊಂದಿಗೆ ಕ್ಷಯಿಸುತ್ತಿತ್ತು. ಅವುಗಳ ಅರ್ಧಾಯುವನ್ನು ಸಹ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಕೆಲವೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಅವು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಗುಣವನ್ನು ಪಡೆದು

ಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ ಅಥವಾ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಈ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಗುಣ ಪಡೆದುಕೊಳ್ಳುವಂತೆ ಪ್ರೇರೇಪಿಸುತ್ತವೆ, ಎಂಬ ಅಂಶ ದೃಢಪಟ್ಟಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಪ್ರೇರಿತ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಅಥವಾ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು.

ಬೊರಾನ್ ಮತ್ತು ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅವು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡು ಅಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಾಗಿ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಈ ಅಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಾಗಿ ಮಾರ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಟ್ಟಿದೆ.

$$_5B^{10} + {}_2He^4 \rightarrow ({}_7N^{14}) \rightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1$$

ಇಲ್ಲಿ $_7N^{13}$, ನೈಟ್ರೊಜನ್ನಿನ ಅಸ್ಥಿರ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಿದ್ದು, ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವ ಗುಣವುಳ್ಳದ್ದಾಗಿದೆ. ಅನಂತರ ಅದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

$$_7N^{13} \rightarrow {}_6C^{13} + {}_{+1}e^0$$

ಅಸ್ಥಿರ ನೈಟ್ರೊಜನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಅರ್ಧಾಯು 10. 1 ನಿಮಿಷಗಳು.

$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow ({}_{15}P^{31}) \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$$

$_{15}P^{30}$ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಗುಣವುಳ್ಳದ್ದಾಗಿದ್ದು, ಪಾಸಿಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಸಿಲಿಕಾನ್ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

$$_{15}P^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{+1}e^0$$

ವಿಕಿರಣಪಟು ಫಾಸ್ಫರಸ್ಸಿನ ಅರ್ಧಾಯು 2. 2 ನಿಮಿಷಗಳು.

ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ತೋರಿಸುವುದು ಮೇಲ್ನೋಟಕ್ಕೆ ಕಾಣುವಷ್ಟು ಸುಲಭವಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಈ ವಿಧಾನದಿಂದ ದೊರೆಯುವ ವಿಕಿರಣಪಟು ವಸ್ತುವಿನ ಪ್ರಮಾಣ ತೀರ ಕಡಿಮೆ. ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಜ್ಯೂಲಿಯೋ ಅವರು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂನ್ನು ಹೈಡ್ರೋಕ್ಲೋರಿಕ್ ಆಮ್ಲದಲ್ಲಿ ಕರಗಿಸಿ ಅನಂತರ ಭಾಷ್ಪೀಭವನ ವಿಧಾನದಿಂದ ಒಣಗಿಸಿದರು. ಹೀಗೆ ದೊರಕಿಸಿದ ಅವಕ್ಷೇಪ (Residue)ವು ಯಾವುದೇ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಹೀಗೆ ಸಂಸ್ಕರಿಸಿದ ಫಾಸ್ಫರಸ್ಸು, ಫಾಸ್ಫೀನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ. ಇದು ಗೊತ್ತಿದ್ದ ವಿಷಯವಾಗಿತ್ತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಇಡೀ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಪುನರಾವರ್ತಿಸಿ ಫಾಸ್ಫೀನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಅನಿಲವು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತು $_{15}P^{30}$. ಇದೇರೀತಿ ಮತ್ತಷ್ಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಕೃತಕವಾಗಿ ಪ್ರೇರೇಪಿಸಲಾಯಿತು.

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ಕಣಕ್ಕಿಳಿದದ್ದು ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ. ಜರ್ಮನಿ, ಫ್ರಾನ್ಸ್, ಮತ್ತು ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ವರದಿಯನ್ನು ಆತ ಲಕ್ಷ್ಯಪೂರ್ವಕವಾಗಿ ಗಮನಿಸುತ್ತಿದ್ದ. ಕೃತಕವಾಗಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ವಿಘಟನೆ ಅದರಲ್ಲೂ ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಆತನ ಆಸಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೆರಳಿಸಿದವು. ಆತ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಕುರಿತು ಹೆಚ್ಚಿನ ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದ.

ಫರ್ಮಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳು

ಫ್ರೆಂಚ್ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಾದ ಜ್ಯುಲಿಯೋ, ಕ್ಯೂರಿ ದಂಪತಿಗಳು 1934 ರ ಜನವರಿಯಲ್ಲಿ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಆವಿಷ್ಕರಿಸಿದ್ದರಷ್ಟೆ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಅವರು ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂನ್ನು ತೀವ್ರಗಾಮಿ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ್ದರು. ಆಗ ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ವಿಘಟನೆಗೊಂಡ ಬಳಿಕ ದೊರೆತ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಪಾಸಿಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವವನ್ನು

ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದ್ದಿತು. ಅದು ತೀರ ಅಲ್ಪ ಕಾಲದವರೆಗೆ ಮಾತ್ರ. ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಅಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಕೆಲ ಹಗುರ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ಭಾರವಾದ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಉಂಟುಮಾಡಲಿಲ್ಲ.

ಆಗ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಗೊತ್ತಿದ್ದುದು ನೈಸರ್ಗಿಕವಾಗಿ ದೊರೆಯುವ 92 ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಮಾತ್ರ. ಅವನ್ನು ವ್ಯವಸ್ಥಿತವಾಗಿ ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿ, ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ 92 ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದ.

ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು. ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶಿಸಿದಾಗ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಸುತ್ತಲಿರುವ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು, ಅವುಗಳನ್ನು ಆಕರ್ಷಿಸುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ವೇಗ ಗಣನೀಯ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಕುಂಠಿತಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಅದರಿಂದ ಅವುಗಳ ಗತಿ ಶಕ್ತಿ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತವೆಂದುಕೊಳ್ಳಿರಿ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಮತ್ತು ಅಲ್ಫಾಕಣ ಎರಡೂ ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅವು ಸಹಜವಾಗಿಯೇ ಪರಸ್ಪರ ವಿಕರ್ಷಿಸುತ್ತವೆ. ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕರ್ಷಣ ಬಲ ಇನ್ನೂ ಅಧಿಕವಾಗುವುದರಿಂದ, ಅಲ್ಫಾಕಣವು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ತಾಡಿಸುವ ಸಂಭವನೀಯತೆ ಬಹಳ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಫರ್ಮಿಯು, ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸುವ ಗುಂಡುಗಳಾಗಿ ಬಳಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದ. ಯಾಕೆಂದರೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶವಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಸುತ್ತಲಿರುವ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶದ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಾಗಲೀ, ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಲೀ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಉಂಟು ಮಾಡುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವಾಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗ ಹೆಚ್ಚಿನ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಕಡಿಮೆಯಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವು ಪೂರ್ಣ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಬಲ್ಲವು. ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಗಿಲ್ಲದ ಅನುಕೂಲತೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಗಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಕೃತಕ ರೀತಿಯಿಂದ ವಿಘಟಿಸಲು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ತಮ ಗುಂಡುಗಳು. ಆದರೆ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳಷ್ಟು ಸುಲಭವಾಗಿ ಮತ್ತು ಹೇರಳವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಒದಗಿಸಬಲ್ಲ ಆಕರಗಳೇ ಆಗ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಕೆಲವೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದರೆ, ಅವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದವು. ಆದರೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಬಹಳ ಕಡಿಮೆ. ಸುಮಾರು ಒಂದು ಲಕ್ಷ ಆಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಬಿಡುಗಡೆ ಯಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಈ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಸೂಕ್ತವೇ ಅಥವಾ ಅಲ್ಲವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳೇ ತೀರ್ಮಾನಿಸಬೇಕಾಗಿತ್ತು.

ಇಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಫರ್ಮಿ ತಾತ್ವಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೇ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪ್ರಮಾಣದ ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸಿ, ತಾತ್ವಿಕ, ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಯೆಂದು ಹೆಸರು ಮಾಡಿದ್ದ. ಈಗ ತನ್ನ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಬದಲಾಯಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದ. ಹಾಗೆ ನೋಡಿದರೆ ಕಾರ್ಬಿನೊ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದ ತಂಡದಲ್ಲಿ ರಾಸೆಟಿ ಉತ್ತಮ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಿಯಾಗಿದ್ದ. ಆತ ರೋಹಿತ ದರ್ಶನ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ತಾತ್ವಿಕವಾಗಿಯೂ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿಯೂ ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದ್ದ. ತನಗೆ ಬೇಕಾದ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ತಾನೇ ರಚಿಸಿಕೊಂಡಿದ್ದ. ಆದರೆ ಆತನು ರಚಿಸಿದ ಉಪಕರಣಗಳು ಫರ್ಮಿಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಕೆಲಸಕ್ಕೆ ಬರುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ. ಫರ್ಮಿ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳತ್ತ ಹೊರಳಲು ಅದೇ ಕಾಲಕ್ಕೆ ಇನ್ನೊಂದು ಘಟನೆ ನಡೆಯಿತು. ಆತ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಬೀಟಾ ವಿಕಿರಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸಿದ್ದ. ಅದನ್ನು ಪ್ರಕಟಣೆಗಾಗಿ ''ನೇಚರ್'' ವಿಜ್ಞಾನಪತ್ರಿಕೆಗೆ ಕಳಿಸಿದ್ದ. ಆ ಪತ್ರಿಕೆ ಫರ್ಮಿಯ ಪ್ರಬಂಧವನ್ನು ತಿರಸ್ಕರಿಸಿತು. ಆ ಪ್ರಬಂಧ ಇಟಲಿಯ ಪತ್ರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟವಾಯಿತು. ಆದರೆ ಅಂತರ್‌ರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ಆಂಗ್ಲ ಪತ್ರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟವಾಗಲಿಲ್ಲವಲ್ಲ ಎಂಬ

ನಿರಾಶೆಯಿಂದ ಖಿನ್ನನಾದ.* ಈ ಖಿನ್ನತೆಯಿಂದ ಮುಕ್ತಿ ಪಡೆಯಲು ಆತ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದತ್ತ ತಿರುಗಿದ.

ಫರ್ಮಿ ಈ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಲು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಮೂರು ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಎದುರಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಒಂದು ಹೇರಳವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಒದಗಿಸುವ ಆಕರದ ಕೊರತೆ. ಎರಡನೆಯದು ಎಲ್ಲ ತೊಂಭತ್ತೆರಡೂ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸುವದು, ಮೂರನೆಯದಾಗಿ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ ಬಳಿಕ ದೊರೆಯುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆಯೋ ಅಥವಾ ಇಲ್ಲವೋ ಎಂಬುದನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲು ಸೂಕ್ತ ಉಪಕರಣ. ಆಗ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಪತ್ತೆ ಮಾಡಲು ಗೈಗರ್ ಗಣಕ (Geiger Counter)ವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಈಗ ಗೈಗರ್ ಗಣಕ ಸರ್ವ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿದ್ದು, ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಕಾಲೇಜಿನ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಕೂಡ ಲಭ್ಯವಿದೆ. ಆದರೆ ಆಗಿನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಪೇಟೆಯಲ್ಲಿ ಅಥವಾ ಕಂಪನಿಗಳಲ್ಲಿ ಗೈಗರ್ ಗಣಕಗಳು ಮಾರಾಟಕ್ಕೆ ಸಿಕ್ಕುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಅಗತ್ಯವಿದ್ದವರು ತಾವೇ ಅದನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿ ತಾನೇ ಸ್ವತಃ ಗೈಗರ್ ಗಣಕವನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡ.

ಎರಡನೆಯ ಸಮಸ್ಯೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಆಕರ. ಫರ್ಮಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ಕಟ್ಟಡದಲ್ಲಿಯೇ ಇಟಲಿಯ ಸಾರ್ವಜನಿಕ ಆರೋಗ್ಯ ಇಲಾಖೆಯ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯವಿತ್ತು. ಪ್ರೊ. ಟ್ರಬಾಕಿ ಅದರ ನಿರ್ದೇಶಕರಾಗಿದ್ದರು. ಕಾರ್ಬಿನೋ ಅವರಿಗಿಂತಲೂ ಟ್ರಬಾಕಿಯವರ ಇಲಾಖೆಗೆ ಅಧಿಕ ಅನುದಾನ ದೊರೆಯುತ್ತಿತ್ತು. ಸ್ವಭಾವತಃ ಪ್ರೊ. ಟ್ರಬಾಕಿ ಉದಾರ ಧೋರಣೆಯ ಮನುಷ್ಯ. ಕಾರ್ಬಿನೋ ಅವರ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನಾ ನಿರತ ತರುಣ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಾದ ಫರ್ಮಿ, ಸೆಗ್ರೆ, ರಾಸೆಟಿ ಮತ್ತು ಅಮಾಲ್ಡಿ ಅವರ ಕೆಲಸದ ಬಗ್ಗೆ ಟ್ರಬಾಕಿಯವರಿಗೆ ತುಂಬಾ ಅಭಿಮಾನವಿತ್ತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು

---

*ನೇಚರ್ ಪತ್ರಿಕೆ ತಿರಸ್ಕರಿಸಿದ ಈ ಪ್ರಬಂಧ ಮುಂದೆ ಫರ್ಮಿಗೆ ತುಂಬಾ ಹೆಸರು ತಂದುಕೊಟ್ಟಿತು.

ಅವರ ಸಹಕಾರಿಗಳು ಟ್ರಬಾಕಿಯವರಿಂದ ಆಗಾಗ್ಗೆ ಸಹಾಯ ಪಡೆಯುತ್ತಿದ್ದರು. ಫರ್ಮಿಯ ಅದೃಷ್ಟಕ್ಕೆ ಟ್ರಬಾಕಿಯವರ ಇಲಾಖೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ರೇಡಿಯಂ ಲಭ್ಯವಿತ್ತು. ಅದನ್ನವರು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ಕಟ್ಟಡದ ನೆಲಮಾಳಿಗೆಯಲ್ಲಿ ಇರಿಸಿದ್ದರು. ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ರೇಡಿಯಂನ ಬೆಲೆ ಆಗಿನ ಕಾಲಕ್ಕೇನೇ ಸುಮಾರು ಮೂವತ್ನಾಲ್ಕು ಸಾವಿರ ಡಾಲರುಗಳೆಂದು ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲಾಗಿತ್ತು. ಅಂದರೆ ಸುಮಾರು ಹದಿಮೂರು ಲಕ್ಷ ರೂಪಾಯಿಗಳು. ರೇಡಿಯಂನಿಂದ ರೆಡಾನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸುವ ಉಪಕರಣ ಸಹ ಟ್ರಬಾಕಿಯವರ ಬಳಿಯಿತ್ತು. ರೇಡಿಯಂ ವಿಘಟನೆಯಿಂದ ರೆಡಾನ್ ಅನಿಲ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ರೆಡಾನ್ ಅನಿಲವು ಸ್ವಯಂ ಸ್ಫೂರ್ತಿಯಿಂದ ಅವಿರತವಾಗಿ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ. ರೆಡಾನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಬೆರಿಲಿಯಂ ಚೂರ್ಣದೊಡನೆ ಸೇರಿಸಿದಾಗ, ರೆಡಾನ್ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳು, ಬೆರಿಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಪ್ರೊ. ಟ್ರಬಾಕಿಯವರು ರೇಡಿಯಂ ಮತ್ತು ರೆಡಾನ್ ಸಂಗ್ರಾಹಕ ಉಪಕರಣಗಳೆರಡನ್ನೂ ನೀಡಿ, ಫರ್ಮಿಯ ಮತ್ತೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಿಹರಿಸಿದರು.

ಇನ್ನು ವಿವಿಧ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದು. ಫರ್ಮಿಗೆ ಈ ಸಂಶೋಧನೆಯಲ್ಲಿ ಎಮಿಲಿಯೊ ಸೆಗ್ರೆ ಮತ್ತು ಅಮಾಲ್ಡಿ ಸಹಾಯಕರಾಗಿ ನಿಂತರು. ರಾಸೆಟಿ ರಜೆ ಕಳೆಯಲು ಮೊರೊಕ್ಕೋಗೆ ಹೋಗಿದ್ದ. ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಸಂಗ್ರಹ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ಸೆಗ್ರೆ ವಹಿಸಿಕೊಂಡ. ಆತ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಸ್ತುಗಳ ಪಟ್ಟಿ ಮಾಡಿಕೊಂಡು ಅಂಗಡಿಗೆ ಹೋದ. ಅಲ್ಲಿ ವಿಚಾರಿಸುತ್ತ ಸೀಸಿಯಂ ಮತ್ತು ರುಬಿಡಿಯಂ ಲೋಹಗಳನ್ನು ಕೊಡಲು ಕೇಳಿದ. ಅಂಗಡಿಯಾತ ಎಲ್ಲಿಯೋ ಮೂಲೆಯಲ್ಲಿ ಧೂಳಿನಿಂದಾವೃತವಾದ ಬಾಕ್ಸುಗಳ ಧೂಳು ಕೊಡಹುತ್ತ "ಕಳೆದ ಹದಿನೈದು ವರ್ಷಗಳಿಂದ ಇವನ್ನಾರೂ ಕೇಳಿಲ್ಲ. ನೀವು ಪುಕ್ಕಟೆಯಾಗಿ ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಹೋಗಬಹುದು" ಎಂದು ಹೇಳಿದನಂತೆ. ಸೆಗ್ರೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಸಮಯ ಓಡಾಡಿ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ ತಂದ. ಹೀಗೆ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನಾರಂಭಿಸಿಲು ಸರ್ವ ಸನ್ನದ್ಧತೆ ಮಾಡಿಕೊಂಡರು.

ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದ ಮೊದಲ ಮೂಲವಸ್ತು ಹೈಡ್ರೋಜನ್ನಿನಿಂದ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಅವರ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ಪ್ರಯೋಗವನ್ನಾರಂಭಿಸಿದರು. ಹೈಡ್ರೋಜನ್ನನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅದು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪಡೆಯಲಿಲ್ಲ. ಅನಂತರ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಿದರು. ಯಾವ ಬದಲಾವಣೆ ಕಾಣಲಿಲ್ಲ. ಅನಂತರ ಲೀಥಿಯಂ, ಬೆರಿಲಿಯಂ, ಬೋರಾನ್, ಕಾರ್ಬನ್, ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಹೀಗೆ ಅನೇಕ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೊಳಪಡಿಸಿದರು. ಯಾವ ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲೂ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಫರ್ಮಿ ತುಂಬಾ ನಿರಾಶ್ರನಾದ. ಇನ್ನೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದ ಬಳಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನೇ ಕೈಬಿಟ್ಟರಾಯಿತೆಂದುಕೊಂಡ. ಮುಂದಿನದು ಆಕ್ಸಿಜನ್. ಈಗಾಗಲೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿ ನೋಡಿದ್ದರಿಂದ, ಪುನಃ ಆಕ್ಸಿಜನ್ನಿನೊಡನೆ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಅರ್ಥವಿರಲಿಲ್ಲ. ಅದರ ಮುಂದಿನ ಮೂಲವಸ್ತು ಫ್ಲೋರಿನ್. ಫ್ಲೋರಿನ್ನನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ. ಆಶ್ಚರ್ಯ ! ಫ್ಲೋರಿನ್ ಬಲವಾಗಿಯೇ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ತೋರಿಸಿತು. ಅದೇ ರೀತಿ ಫ್ಲೋರಿನ್ ನಂತರ ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಬರುವ ಇತರ ಕೆಲ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಇದೇ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ತೋರಿಸಿದವು. ಅವರ ಸಂತೋಷಕ್ಕೆ ಪಾರವೇ ಇಲ್ಲ. ಕೂಡಲೇ ಬರುವಂತೆ ರಾಸೆಟಿಗೆ ತಂತಿ ಕಳಿಸಿದರು. ಅನತಿ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಆಸ್ಕರ ಡಿ ಅಗಸ್ಟಿನೊ ಎಂಬ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞ ಫರ್ಮಿ ತಂಡವನ್ನು ಸೇರಿಕೊಂಡ. ಅವರೆಲ್ಲ ಸೇರಿ ಫರ್ಮಿಯ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ವ್ಯವಸ್ಥಿತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಸಂಶೋಧನೆ ಮುಂದುವರಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದರು.

ರೇಡಿಯಂನಿಂದ ರೆಡಾನ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದು ತುಂಬಾ ಜಟಿಲ ಕ್ರಿಯೆ. ಅವರು ಒಂದು ಚಿಕ್ಕ ಗಾಜಿನ ಪ್ರನಾಳದಲ್ಲಿ ಬೆರಿಲಿಯಂ ಚೂರ್ಣವನ್ನು ತುಂಬಿ ಅದರೊಳಗೆ ಎಷ್ಟು ಸಾಧ್ಯವೋ ಅಷ್ಟು ರೆಡಾನ್ ಅನಿಲ ತುಂಬಿ ಪ್ರನಾಳವನ್ನು ಮೊಹರು ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಈ ಕ್ರಿಯೆ ರೇಡಿಯಂ ಇರಿಸಲಾಗಿದ್ದ ನೆಲಮಾಳಿಗೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿತ್ತು. ಮೊಹರು ಮಾಡಿದ ಪ್ರನಾಳಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಕರಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತಿದ್ದವು. ರೆಡಾನ್ ಕಾಲಾನುಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಪಟುತ್ವವನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ ವಾರಕ್ಕೊಂದು ಸಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಕರಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿ

ಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಹೀಗೆ ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಕರಗಳನ್ನು ಕೂಡಲೇ ಮೇಲಿನ ಅಂತಸ್ತಿಗೆ ಒಯ್ಯಬೇಕಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಮೇಲಿನ ಅಂತಸ್ತಿನಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಕೃತಕವಾಗಿ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವ ಕಾರ್ಯ ನಡೆಯುತ್ತಿತ್ತು.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ತಂಡ ಯಶಸ್ವಿಯಾದ ನಂತರ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತು ಯಾವುದೆಂಬುದನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿತು. ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅದರಲ್ಲಿ ಅಲ್ಪ ಭಾಗ ಮಾತ್ರ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತದೆ. ಆ ಭಾಗವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿಕೊಂಡು ಪರೀಕ್ಷೆಗೊಳಪಡಿಸಬೇಕು. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಅತ್ಯಂತ ಜಟಿಲ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಅವರು ಕಬ್ಬಿಣವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದರು. ಅದರ ಕೆಲಭಾಗ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಗುಣ ಪಡೆದಿರುವುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಹೀಗೆ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಗುಣ ಪಡೆದುಕೊಂಡ ಕಬ್ಬಿಣದ ಕೆಲವಂಶದ ಮೂಲವಸ್ತು ಕಬ್ಬಿಣವಾಗಿರುವುದು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲವೆಂದವರು ತರ್ಕಿಸಿದರು. ಅದನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಅವರು ವಿಕಿರಣಪಟು ವಸ್ತುವನ್ನು ನೈಟ್ರಿಕ್ ಆಮ್ಲದಲ್ಲಿ ಕರಗಿಸಿದರು. ಅದಕ್ಕೆ ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಕಬ್ಬಿಣದ ಅಕ್ಕಪಕ್ಕದಲ್ಲಿರುವ ಮೂಲವಸ್ತು ಕ್ರೋಮಿಯಂ, ಮ್ಯಾಂಗನೀಸ್, ಮತ್ತು ಕೋಬಾಲ್ಟ್‌ಗಳನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಸೇರಿಸಿದರು. ಅನಂತರ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಅವನ್ನೆಲ್ಲ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿ ಗೈಗರ್‌ಗಣಕದಿಂದ ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದರು. ಮೂರರ ಪೈಕಿ ಮ್ಯಾಂಗನೀಸ್ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಕಬ್ಬಿಣವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಅದು ವಿಕಿರಣ ಪಟು ಮ್ಯಾಂಗನೀಸ್ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತಿರಬಹುದೆಂದು ಫರ್ಮಿ ತಂಡದವರು ತರ್ಕಿಸಿದರು.

ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಸೃಷ್ಟಿ ?

ಫರ್ಮಿ ತಂಡದವರು ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅದು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ

ಪಡೆಯುವುದರೊಂದಿಗೆ, ಅದಕ್ಕಿಂತ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚಿಗಿರುವ ಮೂಲವಸ್ತುವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಂಡರು. ಹಾಗಾದರೆ ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿರುವ 92 ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಯುರೇನಿಯಂ ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದರೆ ಏನಾಗಬಹುದು? ಹಾಗೆ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಮೂಲವಸ್ತು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿತು, ಮತ್ತು ಅದನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದಾಗ ಅದು ಯುರೇನಿಯಂ ಮೂಲವಸ್ತುವಿಗಿಂತಲೂ ಒಂದರಿಂದ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಅಂದರೆ 93 ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮೂಲವಸ್ತುವಾಗಿರುವುದು ಕಂಡು ಬಂತು. ಅದು ಅಸ್ಥಿರವಾದ್ದರಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ ಲಭ್ಯವಿಲ್ಲವೆಂಬ ತೀರ್ಮಾನಕ್ಕೆ ಬಂದರು. ಅವರು ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗದ ಫಲಿತಾಂಶದ ವರದಿಯನ್ನು 1934ರ ಮೇ ತಿಂಗಳಲ್ಲಿ ರಿಸೆರ್ಕಾ ಸೈಂಟಿಫಿಕಾ (Ricerca Scientifica) ಪತ್ರಿಕೆಗೆ ಕಳಿಸಿದರು. ಅವರು ತಾವೊಂದು ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ಆವಿಷ್ಕರಿಸಿದ್ದೇವೆಂದಾಗಲೀ ಅಥವಾ ಸೃಷ್ಟಿಸಿ ದ್ದೇವೆಂದಾಗಲೀ ತಮ್ಮ ವರದಿಯಲ್ಲಿ ಹೇಳಿಕೊಂಡಿರಲಿಲ್ಲ. ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಅಂತಹ ಮೂಲವಸ್ತು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯ ಸೂಚನೆಗಳನ್ನು ನೀಡುತ್ತಿವೆಯೆಂದು ಮಾತ್ರ ಹೇಳಿದ್ದರು.

ಈ ವರದಿ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಜಗತ್ತಿನಲ್ಲಿಯೇ ಕೋಲಾಹಲ ವನ್ನುಂಟುಮಾಡಿತು. ಅದೇ ವರ್ಷ ಜೂನ್ 4 ರಂದು ನಡೆದ ಒಂದು ಸಭೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಬಿನೋ ಇಟಲಿಯ ರಾಜನ ಸಮ್ಮುಖದಲ್ಲಿಯೇ ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರ ಕುರಿತು ಮಾತನಾಡಿದ. ಕಾರ್ಬಿನೋ ಉತ್ತಮ ವಾಗ್ಮಿ. ಆತನಿಗೆ ''ತನ್ನ ಹುಡುಗರ'' ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ಬಗ್ಗೆ ಅತಿಯಾದ ಆತ್ಮವಿಶ್ವಾಸ. ಆದ್ದರಿಂದ ಕಾರ್ಬಿನೊ ಅತ್ಯುತ್ಸಾಹದಿಂದ ''ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ಲೋಕಕ್ಕೆ ಇಟಲಿಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಮಹತ್ವದ ಕೊಡುಗೆ ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತು 93'' ಎಂದು ಘೋಷಿಸಿದ. ಈ ವಿಷಯಕ್ಕೆ ಪತ್ರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿಯಾದ ಪ್ರಚಾರ ದೊರೆಯಿತು. ಒಂದು ಪತ್ರಿಕೆಯಂತೂ, ಫರ್ಮಿ ಒಂದು ಸೀಸೆ ಮೂಲವಸ್ತು 93ನ್ನು ಇಟಲಿಯ ಮಹಾರಾಣಿಗೆ ಕಾಣಿಕೆಯಾಗಿ ಕೊಟ್ಟಿದ್ದಾನೆಂದೇ

ಬರೆಯಿತು. ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಬಗ್ಗೆ ಸಂಶೋಧನಾ ತಂಡ ಯಾವುದೇ ಖಚಿತ ತೀರ್ಮಾನಕ್ಕೆ ಬಂದಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವೆಲ್ಲ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳು ಫರ್ಮಿಗೆ ತುಂಬಾ ಕಿರಿಕಿರಿಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಿದವು. ಆದ್ದರಿಂದ ಕಾರ್ಬಿನೊ, ಫರ್ಮಿಯ ಸಮಾಧಾನಕ್ಕೋಸ್ಕರ 93ನೆಯ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರವಿನ್ನೂ ಖಚಿತವಾಗಿಲ್ಲವೆಂದು ಹೇಳಿಕೆ ನೀಡಿದರು. ಕಾಕಾತಾಳೀಯವೇನೋ ಎಂಬಂತೆ, ಕಾರ್ಬಿನೊ ಸಾಯುವುದಕ್ಕಿಂತ ಕೆಲ ಕಾಲ ಮುಂಚೆ ಜರ್ಮನಿಯ ರಾಸಾಯನಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರಾದ ಲೀಸ್ ಮೀಟ್ನರ್ ಮತ್ತು ಆಟೊಹಾನ್ ಫರ್ಮಿಯ ಆವಿಷ್ಕಾರವನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿದರು.

ಅದೇ ವರ್ಷದ ಬೇಸಿಗೆಯಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಗೆ ಉಪನ್ಯಾಸ ನೀಡುವಂತೆ ದಕ್ಷಿಣ ಅಮೇರಿಕೆಯ ವಿವಿಧ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಗಳಿಂದ ಕರೆ ಬಂತು. ದಕ್ಷಿಣ ಅಮೇರಿಕೆಯ ಪ್ರವಾಸ ಮುಗಿಸಿಕೊಂಡು, ಅಕ್ಟೋಬರ್‌ನಲ್ಲಿ ರೋಮ್‌ಗೆ ಮರಳಿ ಬಂದ. ಅಷ್ಟರೊಳಗಾಗಿ ಅವರ ತಂಡವನ್ನು ಬ್ರುನೊ ಪೊಂಟೆಕಾರ್ವೊ ಎಂಬ ತರುಣ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಸೇರಿಕೊಂಡಿದ್ದ.

ಆಕಸ್ಮಿಕ ಆವಿಷ್ಕಾರ

ಪೊಂಟೆಕಾರ್ವೊ ಮತ್ತು ಅಮಾಲ್ಡಿ ಸೇರಿಕೊಂಡು ವಿವಿಧ ಲೋಹಗಳ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಅವರು ಆಯಾ ಲೋಹದ ಸಿಲಿಂಡರನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡು ಅದರೊಳಗೆ ರಂಧ್ರ ಕೊರೆದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಕರವನ್ನು ಕೂಡ್ರಿಸಿದರು. ಅನಂತರ ಸಿಲಿಂಡರನ್ನು ಸೀಸದ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯೊಳಗಿರಿಸಿ ಅದರ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದರು. ಅಂದು ಅವರು ಬೆಳ್ಳಿಯನ್ನು ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕಾಗಿ ತೆಗೆದುಕೊಂಡಿದ್ದರು. ಅವರಿಗೆ ಅಚ್ಚರಿಯಾಗುವಂತೆ, ಸೀಸದ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಯಲ್ಲಿ ಬೆಳ್ಳಿಯ ಸಿಲಿಂಡರಿನ ಸ್ಥಾನ ಬದಲಾದಂತೆ , ಅದರ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವದಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಅವರು ರಾಸೆಟಿ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿಯವರ ಬಳಿ ಓಡಿದರು. ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಸರಿಯಾಗಿ ಅಳತೆ ಮಾಡಿರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲವೆಂದು ರಾಸೆಟಿ ಅವರನ್ನು ಗದರಿಸುವುದರಲ್ಲಿದ್ದ. ಆದರೆ ಫರ್ಮಿ ನಿಧಾನವಾಗಿ ಅವರ ಮಾತನ್ನು ಕೇಳಿಸಿಕೊಂಡ. ಸಿಲಿಂಡರನ್ನು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕಡೆಗಿಟ್ಟು ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಗೊಳ್ಳಲು

ತಿಳಿಸಿದ. ನಂತರದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ರೋಚಕ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ನೀಡಿದವು. ಸಿಲಿಂಡರಿನ ಸುತ್ತಮುತ್ತಲಿನ ವಸ್ತುಗಳು ಅದರ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಭಾವ ಬೀರುವಂತೆ ಕಂಡು ಬಂತು. ಸಿಲಿಂಡರನ್ನು ಲೋಹದ ತುಂಡಿನ ಮೇಲಿಟ್ಟಾಗ, ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಕಡಿಮೆಯಾಗುವುದೂ, ಮರದ ತುಂಡಿನ ಮೇಲಿಟ್ಟಾಗ ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದೂ ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ಈ ಹೊಸ ವಿದ್ಯಮಾನ ಇಡೀ ತಂಡವನ್ನೇ ಬಡಿದೆಬ್ಬಿಸಿತು. ಅವರು ಪ್ರಯೋಗದ ರೀತಿಯನ್ನೇ ಬದಲಿಸಿದರು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಕರವನ್ನು ಸಿಲಿಂಡರಿನೊಳಗೆ ಅಳವಡಿಸುವುದರ ಬದಲಾಗಿ, ಹೊರಗಿಟ್ಟು ಸಿಲಿಂಡರು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಆಕರದ ಮಧ್ಯೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ತಡೆಯಾಗಿಟ್ಟರು. ಸೀಸದ ಫಲಕವನ್ನಿಟ್ಟಾಗ ಅದು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣ ಹೆಚ್ಚಿಸಿತು. ಸೀಸ ಭಾರವಾದ ಮೂಲವಸ್ತುವಷ್ಟೆ. ಈಗ ಹಗುರಾದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ನೋಡೋಣ ಎಂದುಕೊಂಡ ಫರ್ಮಿ, ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದನು.

ಅಂದು 1934ರ ಅಕ್ಟೋಬರ್ 22. ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣದ ದೊಡ್ಡ ಗಟ್ಟಿಯನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಅದರೊಳಗೆ ರಂಧ್ರ ಕೊರೆದರು. ರಂಧ್ರದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆಕರವನ್ನಿರಿಸಿದರು. ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣದಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದು ಬಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಬೆಳ್ಳಿಯ ಸಿಲಿಂಡರನ್ನು ತಾಡಿಸಿದರು. ಅನಂತರ ಬೆಳ್ಳಿಯ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಅಳತೆಮಾಡಲು ಗೈಗರ್ ಗಣಕವನ್ನು ಅದರ ಸಮೀಪ ತಂದರು. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಆಶ್ಚರ್ಯಕ್ಕೆ ಪಾರವೇ ಇಲ್ಲ. ಗೈಗರ್ ಗಣಕ ಏಕಪ್ರಕಾರವಾಗಿ ಹೊಡೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತಿತ್ತು. ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಬೆಳ್ಳಿಯ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವವನ್ನು ನೂರುಮಡಿ ಹೆಚ್ಚಿಸಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ತಂಡದವರು ಈ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಪುನಃ ಪುನಃ ಮಾಡಿ ನೋಡಿದರು. ಮಧ್ಯಾಹ್ನ ಊಟಕ್ಕೆ ಹೋಗಲು ಸಹ ಯಾರಿಗೂ ಮನಸ್ಸಿರಲಿಲ್ಲ. ಫರ್ಮಿ ಒಂದೆಡೆ ಕುಳಿತು ಶಾಂತಚಿತ್ತದಿಂದ ಯೋಚಿಸಿದ. ಈ ವಿದ್ಯಮಾನಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಪಕ ವಿವರಣೆ ನೀಡಿದ.

ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್‌ನಲ್ಲಿ ಅಧಿಕ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತು ಹೈಡ್ರೋಜನ್. ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುವಿನ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮ-ಸಮ. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮೇಣದಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದು ಬರುವಾಗ, ಅವು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಿಗೆ ಸಂಘಟಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಸಂಘಟನೆಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ತಮ್ಮ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ತತ್ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಅವುಗಳ ವೇಗ ಗಣನೀಯವಾಗಿ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬೆಳ್ಳಿಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸುತ್ತವೆ. ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಗಿಂತ, ನಿಧಾನವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಬೆಳ್ಳಿಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಳ್ಳುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಅಧಿಕ ವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಬೆಳ್ಳಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರೇರೇಪಿಸಿದ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಫರ್ಮಿ ನೀಡಿದ ವಿವರಣೆಯಿದು. ಫರ್ಮಿ ನೀಡಿದ ವಿವರಣೆ ಸರಿಯಾಗಿದ್ದರೆ, ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಅಧಿಕ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವ ಯಾವ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹಾಯಿಸಿದರೂ ಇದೇ ಫಲಿತಾಂಶ ದೊರೆಯಬೇಕಷ್ಟೆ. ಹಾಗಾದರೆ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿ ನೋಡೋಣವೆಂದರು. ಕಾರ್ಬಿನೋರ ಕೈತೋಟದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಕಾರಂಜಿ ಕೊಳವಿತ್ತು. ಅದರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಆಕರ ಮತ್ತು ಬೆಳ್ಳಿ ಎರಡನ್ನೂ ಇರಿಸಿದರು. ಅನಂತರ ಬೆಳ್ಳಿಯನ್ನು ಹೊರತೆಗೆದು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದರು. ಫಲಿತಾಂಶ ನಿರೀಕ್ಷಿಸಿದಂತೆಯೇ ಇತ್ತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿವರವಾದ ವರದಿ ತಯಾರಿಸಿ ರಿಸೆರ್ಕಾ ಸೈಂಟಿಫಿಕಾ ಪತ್ರಿಕೆಗೆ ಕಳಿಸಿದರು. ಈ ಸಂಶೋಧನೆ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಅವರ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳಿಗೆ ತುಂಬ ಹೆಸರು ತಂದುಕೊಟ್ಟಿತು. ಕಾರ್ಬಿನೋರ ಸಲಹೆಯಂತೆ ಅದರ ಸ್ವಾಮ್ಯಪತ್ರ (Patent) ವನ್ನೂ ಸಹ ಅವರು ಪಡೆದರು.

ನಂತರದ ದಿನಗಳಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ರೀತಿಯಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಕುಂಠಿತಗೊಳಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದರು.

4. ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ - ದೇಶ ತ್ಯಾಗ

1938ರ ನವೆಂಬರ್ 10ನೇ ತಾರೀಖು ಬೆಳಿಗ್ಗೆ 5ಗಂಟೆಯ ಸಮಯ. ಟೆಲಿಫೋನ್ ಗಂಟೆ ಬಾರಿಸಿತು. ಫರ್ಮಿಯ ಪತ್ನಿ ಲಾರಾ ಹಾಸಿಗೆಯಿಂದೆದ್ದು ಟೆಲಿಫೋನ್ ಎತ್ತಿದಳು. ಆ ಕಡೆಯಿಂದ-

'' ಇದು ಪ್ರೊಫೆಸರ್ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಯವರ ಮನೆಯೆ ?

'' ಹೌದು ''

''ಇಂದು ಸಾಯಂಕಾಲ ಆರುಗಂಟೆಯ ಸುಮಾರಿಗೆ ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಿಂದ ಫರ್ಮಿಯವರಿಗೆ ಸಮಾಚಾರವೊಂದನ್ನು ತಿಳಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ''.

ಅತ್ತ ಟೆಲಿಫೋನ್ ಮಾರ್ಗ ಕಡಿದುಹೋಯಿತು. ಇತ್ತ ಫರ್ಮಿಯ ಹೆಂಡತಿಯ ನಿದ್ದೆ ಹಾರಿಹೋಯಿತು. ಓಡಿ ಹೋಗಿ ಪತಿಯನ್ನಲುಗಾಡಿಸಿ ಸಾಯಂಕಾಲ ಆರುಗಂಟೆಗೆ ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಿಂದ ನಿಮಗೊಂದು ಸಮಾಚಾರ ಬರುವುದಂತೆ ಎಂದು ಹೇಳಿದಳು. ನಿದ್ದೆಗಣ್ಣಿನಲ್ಲಿಯೇ ಫರ್ಮಿ '' ಓ! ಅದು ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಯಿರಬೇಕು '' ಎಂದ.

ಲಾರಾ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿ ಸಾಯಂಕಾಲ ಆರುಗಂಟೆಯ ಪ್ರತೀಕ್ಷೆಮಾಡುತ್ತ ಕುಳಿತರು. ಫರ್ಮಿಯ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳಾದ ಅಮಾಲ್ಡಿ ಮತ್ತು ರಾಸೆಟಿಯವರಿಗೂ ಈ ಸುದ್ದಿಯ ಸುಳಿವು ತಿಳಿದಿತ್ತು. ಅವರು ಕೂಡ ಫರ್ಮಿಯ ಮನೆಗೆ ಆಗಾಗ್ಗ ಫೋನ್ ಮಾಡಿ ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಿಂದ ಸಮಾಚಾರ ಬಂದಿತೆ ಎಂದು ವಿಚಾರಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಫರ್ಮಿ ರೇಡಿಯೋ ಹಾಕಿಕೊಂಡು, ಸಮಾಚಾರ ಕೇಳುತ್ತ ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಿಂದ ಬರುವ ಟೆಲಿಫೋನ್ ಕರೆಗಾಗಿ ಕಾಯೋಣವೆಂದು ಹೆಂಡತಿಗೆ ಹೇಳಿ, ರೇಡಿಯೋ ಕೇಳುತ್ತ ಕುಳಿತ. ಆ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಆಘಾತಕರ ಸುದ್ದಿಯೊಂದನ್ನು ಬಿತ್ತರಿಸಲಾಯಿತು. ದೇಶ ಸರ್ವಾಧಿಕಾರದತ್ತ ವಾಲುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಇಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ

ಜನಸಾಮಾನ್ಯರ ಜೀವನದ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವೂ ಉಂಟಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಇಂದಿನ ಸಮಾಚಾರದಲ್ಲಿ ಇಟಲಿಯಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ಯಹೂದಿಗಳ ನಾಗರಿಕ ಹಕ್ಕುಗಳನ್ನು ಕಸಿದುಕೊಳ್ಳಲಾಗಿತ್ತು. ಅವರ ಮಕ್ಕಳನ್ನು ಸರಕಾರಿ ಶಾಲೆಗಳಿಂದ ತೆಗೆದುಹಾಕಿದರು. ಯಹೂದಿ ಅಧ್ಯಾಪಕರನ್ನು ಕೆಲಸದಿಂದ ಬರಖಾಸ್ತು ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಯಹೂದಿ ಜನಾಂಗದ ಎಲ್ಲರ ಪಾಸ್‌ಪೋರ್ಟಗಳನ್ನು ಮುಟ್ಟುಗೋಲು ಹಾಕಿಕೊಂಡರು. ಒಟ್ಟಾರೆ ಅವರನ್ನು ದ್ವಿತೀಯ ದರ್ಜೆಯ ನಾಗರಿಕರನ್ನಾಗಿ ಪರಿಗಣಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಈ ಸಮಾಚಾರ ಮುಗಿಯುವಷ್ಟರಲ್ಲಿ ಮತ್ತೆ ಟೆಲಿಫೋನ್ ಗಂಟೆ ಮೊಳಗಿತು. ಅದು ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಿಂದ ಬಂದ ಕರೆಯಾಗಿತ್ತು. ಸ್ವೀಡನ್ನಿನ ವಿಜ್ಞಾನ ಅಕಾಡೆಮಿಯ ಕಾರ್ಯದರ್ಶಿ ಬೆಳಗ್ಗಿನಿಂದ ಫರ್ಮಿ ದಂಪತಿಗಳು ಯಾವ ಸಮಾಚಾರಕ್ಕಾಗಿ ಕಾಯುತ್ತಿದ್ದರೋ, ಆ ಶುಭ ಸಮಾಚಾರವನ್ನು ತಿಳಿಸಿದ. ಆ ವರ್ಷದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಗಾಗಿ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಆಯ್ಕೆ ಮಾಡಲಾಗಿತ್ತು. ಕಾರ್ಯದರ್ಶಿ ಟೆಲಿಫೋನ್‌ನಲ್ಲಿಯೇ, "**ರೋಮ್‌ನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಪ್ರೊಫೆಸರ್ ಫರ್ಮಿಗೆ, ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಮೇಲೆ ಉಂಟು ಮಾಡುವ ಪರಿಣಾಮದ ಆವಿಷ್ಕಾರಕ್ಕಾಗಿ, ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ತಾಡನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಹೊಸ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಿದುದಕ್ಕಾಗಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ನೀಡಲಾಗಿದೆ**" ಎಂದು ವಿವರ ನೀಡಿದ.

ಅಷ್ಟರಲ್ಲಿ ಮುಂಬಾಗಿಲ ಗಂಟೆ ಬಾರಿಸಿತು. ಬಾಗಿಲು ತೆಗೆದಾಗ ಅಮಾಲ್ಡಿಯ ಪತ್ನಿ ಗಿನೆಸ್ಟ್ರಾ ನಿಂತಿದ್ದಳು. ಆಕೆಯೊಡನೆ ಫರ್ಮಿಯ ಹತ್ತಾರು ಜನ ಹಳೆಯ ಸ್ನೇಹಿತರು. ಅವರೆಲ್ಲ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಹೃತ್ಪೂರ್ವಕವಾಗಿ ಅಭಿನಂದಿಸಿದರು.

ಇಟಲಿಯಲ್ಲಾದ ರಾಜಕೀಯ ಸ್ಥಿತ್ಯಂತರ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಚಿಂತೆಗೀಡು ಮಾಡಿತು. ಆತನು ಕೆಥೊಲಿಕ್‌ನಾಗಿದ್ದರೂ, ಆತನ ಪತ್ನಿ ಲಾರಾ ಯಹೂದಿ ಧರ್ಮದವಳು. ಇಂದಲ್ಲ ನಾಳೆ ಏನಾದರೂ ತೊಂದರೆ ಉದ್ಭವಿಸಬಹುದೆಂದು ಆತನಿಗೆ ಖಚಿತವಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ದೇಶವನ್ನೇ ತೊರೆದು ಹೋಗುವ ನಿರ್ಧಾರ ತೆಗೆದುಕೊಂಡ. ಈ ನಿರ್ಧಾರದಿಂದ ಫರ್ಮಿಗಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಕಟಪಟ್ಟವಳು ಲಾರಾ. ರೋಮ್ ಆಕೆ ಹುಟ್ಟಿ ಬೆಳೆದ ಊರು. ಮೂವತ್ತು

ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಅದೇ ಊರಿನಲ್ಲಿ ಬದುಕಿ ಬಾಳಿದ್ದಳು.

ಈ ಮಧ್ಯೆ ಫರ್ಮಿಯ ತಂಡದಲ್ಲೂ ಸಾಕಷ್ಟು ಬದಲಾವಣೆಯಾಗಿತ್ತು. ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಯುವ ವೇಗ ತುಂಬಾ ನಿಧಾನವಾಯಿತೆಂದು ಅಸಮಾಧಾನಪಟ್ಟ ಸೆಗ್ರೆ ಪಾಲೆರ್ಮೊಗೆ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ಹೊರಟುಹೋದ. ರಾಸೆಟಿ ಅಮೇರಿಕೆಯ ಪ್ರವಾಸದಲ್ಲಿದ್ದ. ಪೊಂಟಿಕಾರ್ವೊ ಕೂಡ ಬಿಟ್ಟು ಹೋಗಿದ್ದ. ಹೀಗಾಗಿ ಉಳಿದವರಿಬ್ಬರೇ ಇಬ್ಬರು, ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಅಮಾಲ್ಡಿ. ಅವರೂ ಸಹ ಹಳೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನೇ ಮುಂದುವರಿಸಿಕೊಂಡು ನಡೆದಿದ್ದರು.

ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಯ ಘೋಷಣೆಯ ತರುವಾಯ ಇಟಲಿಯ ರಾಜಕೀಯ ಮತ್ತು ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ವಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಯ ಪ್ರತಿಷ್ಠೆ ಹೆಚ್ಚಾದದ್ದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಷ್ಟೆ. ಇದೇ ಸಂದರ್ಭವನ್ನುಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಫರ್ಮಿ ದೇಶದಿಂದ ಪಲಾಯನ ಮಾಡಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿಕೊಂಡ. ಆದರೆ ಸರಕಾರಿ ಅಧಿಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಗೊತ್ತಾಗದಂತೆ ಆತ ತನ್ನ ಯೋಜನೆಯನ್ನು ಕಾರ್ಯಗತಗೊಳಿಸಬೇಕಿತ್ತು. ಅದೇ ವೇಳೆಗೆ ಫರ್ಮಿಗೆ ಅಮೇರಿಕೆಯ ನಾಲ್ಕು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಗಳಿಂದ ಆಮಂತ್ರಣ ಬಂದಿತ್ತು. ಆತ ಯಾವುದೇ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಪೂರ್ಣಾವಧಿ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ಸೇರಿಕೊಳ್ಳಬಹುದಿತ್ತು. ಆದರೆ ಆಗ ವಿದೇಶದೊಡನೆ ನಡೆಯುವ ಎಲ್ಲ ಪತ್ರ ವ್ಯವಹಾರ ಸೆನ್ಸಾರ್ ಆಗುತ್ತಿತ್ತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಫರ್ಮಿ ಮೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಗಳಿಗೆ ನಕಾರಾತ್ಮಕ ಉತ್ತರ ಬರೆದ. ಅವನ್ನು ಒಂದೇ ಕಡೆ ಅಂಚೆಯಲ್ಲಿ ಹಾಕಿದರೆ ಅಧಿಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಸಂದೇಹ ಬರಬಹುದೆಂದು ಮೂರು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಊರುಗಳಲ್ಲಿಯ ಅಂಚೆಪೆಟ್ಟಿಗೆಗಳಲ್ಲಿ ಹಾಕಿದ. ಮತ್ತು ನ್ಯೂಯಾರ್ಕಿನಲ್ಲಿರುವ ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಆಮಂತ್ರಣವನ್ನು ಸ್ವೀಕರಿಸಿ, ಆರು ತಿಂಗಳು ಮಾತ್ರ ತಾನು ಸೇವೆಗೆ ಲಭ್ಯವಿರುವುದಾಗಿ ತಿಳಿಸಿದ. ಆರು ತಿಂಗಳ ನಂತರ ಮತ್ತೆ ರೋಮ್‌ಗೆ ಮರಳಿ ಬರುವುದಾಗಿ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಬರೆದ.

ಡಿಸೆಂಬರ್ 10 ನೊಬೆಲ್‌ನ ಪುಣ್ಯತಿಥಿ. ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಯನ್ನು ಅಂದು ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಲ್ಲಿ ವಿತರಣೆ ಮಾಡುವದಿತ್ತು. 1938ರ ಡಿಸೆಂಬರ್ 6ರಂದು ರೋಮ್‌ನಿಂದ ಹೊರಡಲು ನಿಶ್ಚಯಿಸಿದರು. ಅವರು, ಇಬ್ಬರು

ಮಕ್ಕಳು ಮತ್ತು ದಾದಿ ಒಟ್ಟು ಐದು ಜನ ಪ್ರಥಮ ದರ್ಜೆಯ ಡಬ್ಬಿಯನ್ನೇರಿದರು. ಅವರನ್ನು ಬೀಳ್ಕೊಡಲು ಅಮಾಲ್ಡಿ ದಂಪತಿಗಳು, ರಾಸೆಟಿ, ಮತ್ತಿತರ ಸ್ನೇಹಿತರು ರೈಲು ನಿಲ್ದಾಣಕ್ಕೆ ಬಂದಿದ್ದರು. ರಾಸೆಟಿ ಕೂಡ 1939ರ ಜುಲೈ ತಿಂಗಳಲ್ಲಿ ಇಟಲಿಯನ್ನು ತೊರೆಯುವವನಿದ್ದ. ಕ್ವಿಬೆಕ್‌ನಲ್ಲಿರುವ ಲಾವೆಲ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನೆಂದು ಆತನ ನೇಮಕವಾಗಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿ ಕುಟುಂಬವು ಶಾಶ್ವತವಾಗಿ ಇಟಲಿಯನ್ನು ತೊರೆಯುವ ಸಂಗತಿ ಕೇವಲ ಇಬ್ಬರು, ಮೂವರು ನಿಕಟ ಸ್ನೇಹಿತರಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಗೊತ್ತಿತ್ತು. ರೈಲು ಚಲಿಸಿತು. ಸ್ನೇಹಿತರೆಲ್ಲ ಕೈಬೀಸಿದರು. ಮಾತೃದೇಶಕ್ಕೆ ಕೊನೆಯ ವಿದಾಯ ಹೇಳಿದ. ಫರ್ಮಿ ಕುಟುಂಬ ಸ್ವೀಡನ್ನಿನತ್ತ ಪಯಣಿಸಿತು. ಅದು ನಲವತ್ತೆಂಟು ಗಂಟೆಗಳ ರೈಲು ಪ್ರಯಾಣ. ಯಾವ ತೊಂದರೆಯಿಲ್ಲದೆ ಸುರಕ್ಷಿತವಾಗಿ ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್ ತಲುಪಿದರು.

ಆ ವರ್ಷ ಕೇವಲ ಎರಡು ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಯನ್ನು ಘೋಷಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಒಂದು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ, ಇನ್ನೊಂದು ಸಾಹಿತ್ಯ. ಸಾಹಿತ್ಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಅಮೇರಿಕೆಯ ಸಾಹಿತಿ ಪರ್ಲ್ ಬಕ್ ಅವರಿಗೆ ದೊರೆತಿತ್ತು. 1938ರ ಡಿಸೆಂಬರ್ 10ರಂದು ನಡೆದ ವರ್ಣರಂಜಿತ ಸಮಾರಂಭದಲ್ಲಿ ಸ್ವೀಡನ್ನಿನ ರಾಜ 5ನೆಯ ಗುಸ್ಟಾವ್, ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಪರ್ಲ್‌ಬಕ್ ಅವರುಗಳಿಗೆ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಪ್ರದಾನ ಮಾಡಿದ.

ಅನಂತರ ಫರ್ಮಿ ತನ್ನ ಕುಟುಂಬದೊಂದಿಗೆ ಹಡಗಿನಲ್ಲಿ ಅಮೇರಿಕೆಗೆ ಪ್ರಯಾಣ ಬೆಳೆಸಿದ. 1939ರ ಜನವರಿ 2 ರಂದು ಅವರು ಅಮೇರಿಕದ ನೆಲದ ಮೇಲೆ ಕಾಲೂರಿದರು. ನ್ಯೂಯಾರ್ಕಿನಲ್ಲಿದ್ದ ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ಫರ್ಮಿ ಸೇರಿಕೊಂಡ. ಅಮೇರಿಕದಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ತನ್ನ ಕುಟುಂಬದೊಡನೆ ನೆಲೆಗೊಳ್ಳಲು, ಹೆರಾಲ್ಡ್ ಯುರೇ ಎಂಬ ಇನ್ನೊಬ್ಬ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಸಹಾಯ ಮಾಡಿದ. ತನ್ನ ಮುಂದಿನ ಜೀವನವನ್ನು ಅಮೇರಿಕದಲ್ಲಿಯೇ ಕಳೆಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆಂದು ಫರ್ಮಿ ಆಗ ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಂಡಿರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ.

5. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನ

1934ರ ವರೆಗೆ ಇಟಲಿಯಲ್ಲಿ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಆತನ ತಂಡ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ವಿವಿಧ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿ ಕೃತಕವಾಗಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಕೈಕೊಂಡಿದ್ದರು. ಅದೇ ವಿಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಜರ್ಮನಿಯ ಬರ್ಲಿನ್ನಿನಲ್ಲಿರುವ ಕೈಸರ್ ವಿಲ್‌ಹೆಲ್ಮ್ ಸಂಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆದಿದ್ದವು. ಮೂರು ಜನ ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದ್ದರು. ಅವರಲ್ಲಿ ಹಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರು. ಇನ್ನೊಬ್ಬಳು ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಲೀಸ್ ಮೈಟ್ನರ್. ಮೈಟ್ನರ್ ಯಹೂದಿ ಜನಾಂಗಕ್ಕೆ ಸೇರಿದವಳು. ಜರ್ಮನಿಯಲ್ಲಿ ಹಿಟ್ಲರ್ ಪ್ರಬಲವಾಗುತ್ತ ಹೋದಂತೆ ಯಹೂದಿ ಜನ ಒಬ್ಬೊಬ್ಬರಾಗಿ ಜರ್ಮನಿಯನ್ನು ತೊರೆದು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕಡೆಗೆ ವಲಸೆ ಹೋಗತೊಡಗಿದರು. ಮೈಟ್ನರ್ 1938ರಲ್ಲಿ ಸ್ವೀಡನ್ನಿಗೆ ತೆರಳಿದಳು. ಫರ್ಮಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಸ್ವೀಕರಿಸಲು ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ಗೆ ಬಂದಾಗ ಮೈಟ್ನರ್ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿ ಪರಸ್ಪರ ಭೇಟಿಯಾಗಿದ್ದರು. ಎಲ್ಲ ನಿರಾಶ್ರಿತರಂತೆ ಮೈಟ್ನರ್ ಕೂಡ ತುಂಬಾ ನೊಂದಂತೆ ಕಾಣುತ್ತಿದ್ದಳು.

ಇತ್ತ ಜರ್ಮನಿಯಲ್ಲಿ ಹಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್, ಮೈಟ್ನರ್‌ಳ ಅನುಪಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದರು. ಅವರು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿ, ದೊರೆತ ಉತ್ಪನ್ನ (Product) ಗಳನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದರು. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಬೇರಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳಿರುವುದು ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ಬೇರಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ, ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸುಮಾರು ಅರ್ಧದಷ್ಟು. ಅಂದರೆ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಎರಡು ಸಮನಾದ ಭಾಗಗಳಾಗಿ ಒಡೆದಿರಬಹುದೆ ? ಎಂಬ ಸಂದೇಹ ಅವರಿಗುಂಟಾಯಿತು.

ಯಾಕೆಂದರೆ ಇಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಸಿದ ಈ ವಿಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಇಂತಹ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಯಾರೂ ಗುರುತಿಸಿರಲಿಲ್ಲ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪರಮಾಣು ವಿಘಟನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮಾನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಪ್ರೋಟಾನು ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತಿದ್ದವು. ಕ್ವಚಿತ್ತಾಗಿ ನಾಲ್ಕು ಮಾನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳೂ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತಿದ್ದುದು ಉಂಟು. ಬೇರಿಯಂನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ 139. ಇಷ್ಟು ದೊಡ್ಡ ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಒಡೆಯುವುದನ್ನು ಗುರುತಿಸಿದುದು ಇದೇ ಮೊದಲು. ಹಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್ ಆಗ ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ನಲ್ಲಿದ್ದ ಮೈಟ್ನರಳಿಗೆ ತಮ್ಮ ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನು ಹೇಗೋ ತಿಳಿಸುವಲ್ಲಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾದರು. ಮೈಟ್ನರಳ ಸೋದರ ಸಂಬಂಧಿ ಆಟೊ ಫ್ರಿಷ್. ಆತನೂ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಯೇ. ಅವರಿಬ್ಬರೂ ಕೂಡಲೇ ಕೋಪನ್‌ಹೆಗನ್ (ಡೆನ್ಮಾರ್ಕಿನ ರಾಜಧಾನಿ) ಗೆ ತೆರಳಿ ಅಲ್ಲಿ ನೀಲ್ಸ್ ಬೋರ್ ಅವರನ್ನು ಭೇಟಿ ಮಾಡಿ, ಹಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್ ಅವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನು ತಿಳಿಸಿದರು. ಅವರೆಲ್ಲ ಸೇರಿ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ವಿವರಿಸಬಲ್ಲ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸಿದರು. ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು, ಎರಡು ಸರಿ-ಸಮ ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ಒಡೆಯುವ ವಿದ್ಯಮಾನಕ್ಕೆ ವಿದಳನ (Fission) ಎಂದು ಹೆಸರು ಕೊಟ್ಟವಳೇ ಮೈಟ್ನರ್. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ತುಂಡುಗಳೆರಡೂ ಅತ್ಯಂತ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸಬೇಕಲ್ಲದೆ, ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿ ಸಹ ಬಿಡುಗಡೆ ಯಾಗುತ್ತಿರಬೇಕೆಂದು ಅವರು ತರ್ಕಿಸಿದರು. ತಮ್ಮ ಊಹೆ ಸರಿಯೆ ಅಥವಾ ತಪ್ಪೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು, ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡಲು ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಕೈಗೊಳ್ಳಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದರು. ಈ ಮಧ್ಯೆ ಬೋರ್ ಅಮೇರಿಕೆಗೆ ಹೋದ. ಆತ ಅಮೇರಿಕೆ ತಲುಪಿದಾಗ ತಂತಿಯೊಂದು ಆತನಿಗಾಗಿ ಕಾದಿತ್ತು. ಫ್ರಿಷ್ ಮತ್ತು ಮೈಟ್ನರ್ ನಡೆಸಿದ ಪ್ರಯೋಗ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿದೆಯೆಂದು ತಿಳಿಸಿದ್ದರು. ಅವರು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆ ಕುರಿತು ರೂಪಿಸಿದ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕನುಗುಣವಾಗಿಯೇ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ದೊರೆತಿದ್ದವು.

ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಈ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಫರ್ಮಿ ನಾಲ್ಕು ವರ್ಷಗಳ

ಮುಂಚೆಯೇ ಮಾಡಿದ್ದ. ಆತನೂ ಸಹ ಹಾನ್ - ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್‌ರಂತೆ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ್ದ. ಆದರೆ ಆಗ ಫರ್ಮಿ ತಂಡದ ಗಮನವೆಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವುದರ ಕಡೆಗಿತ್ತು. ಅವರು ಬೇರೊಂದು ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ಯೋಚಿಸಿರಲೇ ಇಲ್ಲ. ಅಲ್ಲದೆ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ ಬಳಿಕ ನಡೆದ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಮತ್ತು ಅವುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ಅಗತ್ಯವಾದ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳು ಅವರಿಗೆ ಲಭ್ಯವಿರಲಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾಗಿ ಫರ್ಮಿ ತಂಡಕ್ಕೆ ಅವರ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲೂ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ವಿದಳನ ನಡೆದಿರುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದ್ದರೂ, ಅದನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದೇ ಹೋಯಿತು.

ಫರ್ಮಿ ಇಟಲಿಯನ್ನು ತ್ಯಜಿಸಿ ಅಮೇರಿಕೆಗೆ ಬರುವಾಗ ತಾತ್ವಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸಬೇಕೆಂದುಕೊಂಡಿದ್ದ. ಅಲ್ಲದೆ ಆತನ ಗೈಗರ್ ಗಣಕ, ರೇಡಿಯಂ ಲೋಹ ಮತ್ತು ಅನೇಕ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಸಂಗ್ರಹ ಎಲ್ಲವೂ ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿಯೇ ಉಳಿದಿದ್ದವು. ರೋಮ್‌ನಿಂದ ಹೊರಟು, ಸ್ಟಾಕ್‌ಹೋಮ್‌ಗೆ ಬಂದು ಅಲ್ಲಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಸ್ವೀಕರಿಸಿ, ಅನಂತರ ಅಮೇರಿಕೆಗೆ ಬಂದು ನೆಲೆಗೊಳ್ಳಲು ಸಾಕಷ್ಟು ಕಾಲ ವ್ಯಯವಾಗಿತ್ತು. ಆ ಗಲಾಟೆಯಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಗೆ ಪ್ರಸ್ತುತ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಬೆಳವಣಿಗೆ ಕುರಿತು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಅದೆಲ್ಲವನ್ನೂ ಕೆಲವೇ ದಿನಗಳಲ್ಲಿ ಓದಿ ಮುಗಿಸಿದ. ಈ ದಿಸೆಯಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ಅಸಾಧ್ಯ ಸಮರ್ಥಶಾಲಿ. ಆತ ಸಂಶೋಧನಾ ಪ್ರಬಂಧಗಳನ್ನು ಬಹು ಬೇಗ ಓದಿ ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಂಡು, ಅರಗಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿದ್ದ. ಫರ್ಮಿಯ ಈ ಸಾಮರ್ಥ್ಯಕ್ಕೆ ಆತನ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳೇ ಅಸೂಯೆಪಡುತ್ತಿದ್ದರು.

ಫರ್ಮಿಗೆ ಮೈಟ್ನರ್ ಮತ್ತು ಫ್ರಿಷ್ ಅವರು ಕೈಗೊಂಡ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಷಯ ಬೋರ್‌ನಿಂದ ತಿಳಿಯಿತು. ಆತ ಪರಮಾಣು ವಿದಳನ ಕುರಿತು ಯೋಚಿಸತೊಡಗಿದ. ಮತ್ತು ಅದನ್ನು ಕುರಿತು ತನ್ನದೇ ಆದ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸಿದ. ಪರಮಾಣು ವಿದಳನೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು·

ಬೇಕಷ್ಟೆ. ಮೊದಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೇ ಉತ್ಪಾದಿಸಿಕೊಂಡು ವಿದಳನೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸಬೇಕು. ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ವಿದಳನೆಗೊಂಡಾಗ, ಆ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತಿರಬೇಕೆಂದು ಫರ್ಮಿ ಊಹಿಸಿದ. ಆ ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಮತ್ತೆರಡು ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಒಡೆಯುತ್ತವೆ. ಆಗ ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣು ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಪುನಃ ಎರಡೆರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಅಂದರೆ ಒಟ್ಟು ನಾಲ್ಕು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಪ್ರತಿ ಹಂತದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚುತ್ತ ಹೋಗಿ, ಆ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿದಳನೆಯಾಗುವವರೆಗೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಇದು ಸ್ವಯಂ ಪೋಷಿತ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಕುರಿತು ಫರ್ಮಿಯ ಮೂಲ ಊಹಾ ಕಲ್ಪನೆ. ಪರಮಾಣು ಅಥವಾ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆ ಕುರಿತು ಫರ್ಮಿ ತನ್ನ ಪ್ರತಿಪಾದನೆಯನ್ನು ಮುಂದಿಟ್ಟೊಡನೆ ಅನೇಕ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ, ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತವೆಯೆ ಹೇಗೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿದರು.

ಈ ಮಧ್ಯೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಘಟಕಗಳು, ಅದರ ರಚನೆಯನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ವಿವಿಧ ಮಾದರಿಗಳು ಮುಂತಾದ ವಿಷಯಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಅಧ್ಯಯನ ನಡೆದಿತ್ತು. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯ ಸ್ಪಷ್ಟ ಕಲ್ಪನೆ ಬರಲು ಇವೆಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳ ಪೂರ್ವಭಾವೀ ತಿಳುವಳಿಕೆ ಅಗತ್ಯ.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ರಚನೆ

ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿದ್ದು, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ವಿವಿಧ ಕಕ್ಷೆಗಳಲ್ಲಿ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಸುತ್ತುತ್ತಿರುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಮರ್ಥಿಸಲಾಗಿದೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಎಂಬ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಅವೆರಡರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮನಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನು ಅಥವಾ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ

ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಏಕಮಾನ (atomic mass unit-amu) ವೆಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ವಿದ್ಯುದಾವೇಶರಹಿತ ಕಣ. ಪ್ರೋಟಾನು ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ, ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಋಣವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ಕಣಗಳು. ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಪ್ರೋಟಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ 1/ 1840 ರಷ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಪರಮಾಣು ತಟಸ್ಥ ಅಥವಾ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ ರಹಿತವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಒಟ್ಟು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ, ಅಥವಾ ಆದರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ಒಟ್ಟು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಆ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (Atomic Number) ಎಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಅದನ್ನು Z ಎಂಬ ಸಂಕೇತಾಕ್ಷರದಿಂದ ಸೂಚಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಮೊತ್ತವನ್ನು, ಆ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು (Mass Number) ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಅದನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ A ಸಂಕೇತಾಕ್ಷರದಿಂದ ಸೂಚಿಸುತ್ತಾರೆ. ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಹೀಗೆ ಯಾವುದೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಹ್ರಸ್ವಸಂಕೇತಾಕ್ಷರದಲ್ಲಿ ಕೆಳಗಿನಂತೆ ಬರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ.

$$_{Z}X^{A}$$

ಇದರಲ್ಲಿ X ಇದು ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಸಂಕೇತವನ್ನು (ಉದಾ : H, O, N ಇತ್ಯಾದಿ) ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ.

A = ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ

Z = ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ

ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರದ ಪೂರ್ವದಲ್ಲಿ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಿರುತ್ತವೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಭಾವಿಸಿದ್ದರು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಆವಿಷ್ಕಾರವಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ನಂತರದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿರಬಹುದಾದ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಅಳಿಸಿಹಾಕಿದವು.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವ್ಯಾಸ

$d_n = 2.4 \times 10^{-13} A^{\frac{1}{3}}$ ಸೆಂ.ಮೀ

ಎಂಬ ಸೂತ್ರದಿಂದ ಕೊಡಲಾಗುತ್ತದೆ. A ಇದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ. ನೈಸರ್ಗಿಕವಾಗಿ ದೊರೆಯುವ ಅತಿಭಾರ ಮೂಲವಸ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ - 238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವ್ಯಾಸ,

$d_n = 2.4 \times 10^{-13} \times 238^{\frac{1}{3}}$ ಸೆಂ.ಮೀ.

$= 1.5 \times 10^{-12}$ ಸೆಂ.ಮೀ. ಇರುತ್ತದೆ.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಲು, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೊಂದು ಸೂಕ್ತ ಮಾದರಿ ಅಗತ್ಯವೆನಿಸಿತು. ಅತ್ಯಂತ ಸಮರ್ಪಕವಾದ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಇಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿಲ್ಲ. ಕೆಲ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಂಡಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಮೂರು ಮಾದರಿಗಳನ್ನಿಲ್ಲಿ ಚರ್ಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಒಂದು ಅಲ್ಫಾಕಣ ಮಾದರಿ, ಎರಡನೆಯದು ದ್ರವ ಹನಿಮಾದರಿ ಮತ್ತು ಮೂರನೆಯದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕವಚ ಮಾದರಿ.

ಅಲ್ಫಾಕಣ ಮಾದರಿ

ಭಾರವಾದ ವಿಕಿರಣಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಅಲ್ಫಾಕಣವನ್ನು

ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತವಷ್ಟೆ. ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಅಲ್ಫಾಕಣ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಮುಂದಿಡಲಾಯಿತು. ಅಂದರೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಮತ್ತು ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನು ಸೇರಿಕೊಂಡು ಅಲ್ಫಾಕಣದ ಕಟ್ಟಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ಈ ಮಾದರಿ ಹಗುರವಾದ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಸಮರ್ಪಕ ವಿವರಣೆ ನೀಡಲಾರದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಕೈಬಿಡಲಾಯಿತು.

ದ್ರವ ಹನಿ ಮಾದರಿ

ಈ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿ ನೀಲ್ಸ್ ಬೋರ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು, ವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟವಾದ ದ್ರವದ ಹನಿಯಂತಿರುತ್ತದೆಂದು ವಾದಿಸಿದ. ಈ ಮಾದರಿಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಗೋಳಾಕಾರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ತ್ರಿಜ್ಯವನ್ನು, ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳ ಚದುರುವಿಕೆಯ ಪ್ರಯೋಗ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಧರಿಸಿ ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಿಂದ ಚದುರಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದಲೂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ತ್ರಿಜ್ಯವನ್ನು ಲೆಕ್ಕಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ವಿದ್ಯುದಾವೇಶರಹಿತ ಕಣವಾದ್ದರಿಂದ ಕೇವಲ ಹ್ರಸ್ವವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಬಲಗಳು (short range forces) ಮಾತ್ರ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ಮಧ್ಯೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ: ಈಗಾಗಲೇ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಿದಂತೆ, A ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ತ್ರಿಜ್ಯ $r_n = 1.2 \times 10^{-13} A^{\frac{1}{3}}$ ಸೆಂ.ಮೀ.

ಬೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮೇರೆಗೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಗೋಳವೆಂದು ಪರಿಗಣಿಸಿದಾಗ, ಅದರ ಗಾತ್ರ

$$V_n = \frac{4}{3} \pi r_n^3 = \frac{4}{3}(1.2 \times 10^{-13})^3 A \text{ ಸೆಂ.ಮೀ.}^3$$

$$= 7.24 \times 10^{-39} A \text{ ಸೆಂ.ಮೀ.}^3$$

ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ = 1.67×10^{-24} ಗ್ರಾಂ

ಆದ್ದರಿಂದ ಯಾವುದೇ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ $=1.67 \times 10^{-24} \times A$ ಗ್ರಾಂ.
ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಸ್ತುವಿನ ಸಾಂದ್ರತೆ

$$\rho_n = \frac{1.67 \times 10^{-24} \times A \text{ ಗ್ರಾಂ}}{7.24 \times 10^{-39} A \text{ ಸೆಂ.ಮೀ}^3}$$

ಸರಳೀಕರಿಸಿದಾಗ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಸ್ತುವಿನ ಸಾಂದ್ರತೆ-ಪ್ರತಿ ಘನ ಸೆಂಟಿಮೀಟರಿಗೆ 2.3×10^{14} ಗ್ರಾಂಗಳಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಪ್ರತಿ ಘನ ಸೆಂಟಿಮೀಟರಿಗೆ 10^8 ಟನ್ನುಗಳು. ಇನ್ನೊಂದು ಮಹತ್ವದ ಅಂಶವೆಂದರೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಸ್ತುವಿನ ಸಾಂದ್ರತೆಯು, ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಿಲ್ಲ ವೆಂಬುದು ಸೂತ್ರವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದಾಗ ಮನವರಿಕೆಯಾಗುತ್ತದೆ.

A ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಇನ್ನೊಂದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣವನ್ನು ಸೇರಿಸಿದರೆ ಅದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ A + 1 ಆಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಹೀಗೆ ಕಣ ಸೇರಿಸುವುದರಿಂದ ಅದರ ಸಾಂದ್ರತೆಯಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಉಂಟಾಗದು. ಯಾಕೆಂದರೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ವರ್ತಿಸುವ ಬಲಗಳು ಹ್ರಸ್ವವ್ಯಾಪ್ತಿಯವೂ ಮತ್ತು ಸಂತೃಪ್ತವೂ ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಹಾಗಿಲ್ಲದಿದ್ದರೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೊಂದು ಕಣ ಸೇರಿಸಿದರೆ, ಅದರ ಸಾಂದ್ರತೆ ಬದಲಾಗಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ಯಾವುದೇ ಕಣ ತನಗೆ ತೀರ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಸುತ್ತುಮುತ್ತಲಿನ ಕಣಗಳ ಜೊತೆ ಮಾತ್ರ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ.

ದ್ರವದ ಸಣ್ಣ ಹನಿ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ನಡುವಿನ ಸಾಮ್ಯತೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನಂತೆ ವಿವರಿಸಬಹುದು.

1. ದ್ರವದ ಸಣ್ಣ ಹನಿಯು ಗೋಲಾಕಾರವಾಗಿರಲು ಕಾರಣ ಮೇಲ್ಮೈ ಎಳೆತದ ಬಲಗಳು ಆ ಹನಿಯ ಕೇಂದ್ರದೆಡೆಗೆ ಎಳೆಯುತ್ತವೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಗೋಲಾಕಾರವಾಗಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ.

2. ಗೋಲಾಕಾರವಾಗಿರುವ ಹನಿಯ ಸಾಂದ್ರತೆ ಅದರ ಗಾತ್ರವನ್ನು

ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಿಲ್ಲ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೂ ಕೂಡ ಅಷ್ಟೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಸ್ತುವಿನ ಸಾಂದ್ರತೆ ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ದ್ರವದ ಹನಿಯ ಸಾಂದ್ರತೆ ದ್ರವವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

3. ಹನಿಯಲ್ಲಿರುವ ದ್ರವದ ಅಣುಗಳು, ತಮ್ಮ ಸಮೀಪದ ಸುತ್ತು ಮುತ್ತಲಿನ ಅಣುಗಳೊಂದಿಗೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳೂ ಅಷ್ಟೆ.

4. ಹನಿಯ ಮೇಲ್ಮೈಯಲ್ಲಿ ವರ್ತಿಸುವ ಮೇಲ್ಮೈ ಎಳೆತದ ಬಲಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಮೇಲ್ಮೈಯಲ್ಲಿರುವ ವಿಭವ ತಡೆ ಪರಿಣಾಮ (Potential barrier effects) ಗಳೊಂದಿಗೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದು.

5. ಹನಿಯಲ್ಲಿರುವ ದ್ರವದ ಅಣುಗಳು ದೂರ ಕಡಿಮೆಯಿದ್ದಾಗ ಔಷ್ಣಿಕ ವೇಗ (Thermal Velocity) ಗಳಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಉಷ್ಣತೆಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದರಿಂದ ಔಷ್ಣಿಕ ಕ್ಷೋಭೆಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಬಹುದು. ಆಗ ಹನಿಯ ಮೇಲ್ಮೈಯಲ್ಲಿರುವ ಅಣುಗಳು ಆವಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಅದೇ ರೀತಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳಿಗೆ ಗತಿ ಶಕ್ತಿಯಿರುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಕಣವೊಂದರಿಂದ ತಾಡಿಸುವ ಮೂಲಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟರೆ, ಸಂಯುಕ್ತ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಅದು ತಕ್ಷಣವೇ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ.

6. ದ್ರವದ ಹನಿ ಆಂದೋಲಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅದು ಸುಮಾರಾಗಿ ಎರಡು ಸಮನಾದ ಭಾಗಗಳಾಗಿ ಒಡೆಯುತ್ತದೆ. ಅದೇರೀತಿ ಭಾರವಾದ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಂಡಾಗ, ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವ ಸಂಯುಕ್ತ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಸಮನಾಗಿರುವ ಎರಡು ಭಾಗಗಳಾಗಿ ಒಡೆಯುತ್ತದೆ. ಈ ವಿದಳನೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಮುಂದೆ ವಿವರವಾಗಿ ಚರ್ಚಿಸಿದೆ.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕವಚ ಮಾದರಿ

ಈ ಮಾದರಿಯ ಪ್ರಕಾರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಕಣಗಳು ಗುಂಪುಗಳಾಗಿ ಸಿಪ್ಪೆ ಅಥವಾ ಕವಚಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಇರುತ್ತವೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲೂ (even) ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲೂ (even) ಇದ್ದರೆ ಅಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಹೆಚ್ಚು ಸ್ಥಿರ ಅಥವಾ ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ವಿಷಮ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಅಥವಾ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ವಿಷಮ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಇರುವಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಅಷ್ಟು ಸುಭದ್ರವಾಗಿರವುದಿಲ್ಲ. ಎರಡೂ ಬಗೆಯ ಕಣಗಳು ವಿಷಮ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಅಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ಸ್ಥಿರತೆ ತೀರಾ ಕಡಿಮೆ. ಅಂದರೆ ಹೆಚ್ಚು ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಿಗೆ ಪ್ರತಿಸಲ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಹೆಚ್ಚು ಸ್ಥಿರವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳೇ ದೊರೆಯುತ್ತವೆ. ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸುವುದೆಂದರೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅಲ್ಫಾಕಣವನ್ನು ಸೇರಿಸಿದಂತೆಯೇ ಅಲ್ಲವೆ ? ಆದರೆ ಇದು ಅಲ್ಫಾಕಣ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸುವುದಿಲ್ಲವೆಂಬುದನ್ನು ನೆನಪಿನಲ್ಲಿಡಬೇಕು.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕವಚ ಮಾದರಿಯನ್ನು, ಪರಮಾಣುವಿನ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕವಚ ಮಾದರಿಯೊಡನೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ತುಂಬಿಕೊಂಡ ಕವಚಗಳಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಸುಭದ್ರ ಅಥವಾ ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವು ಜಡಾನಿಲಗಳು. ಅದೇ ರೀತಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲೂ ಸಹ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ತುಂಬಿಕೊಂಡ ಕವಚಗಳಿದ್ದರೆ ಅದು ಹೆಚ್ಚು ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕವಚ ಮಾದರಿಯನ್ನು, ಪರಮಾಣು ಕವಚ ಮಾದರಿಗೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದಾದರೂ, ಎರಡರಲ್ಲೂ ಸಾಕಷ್ಟು ವ್ಯತ್ಯಾಸವುಂಟು. ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ನಡುವೆ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ಬಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳ

ಮಧ್ಯೆಯಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಹಾಗೂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕವಚದಲ್ಲಿ ಕೇವಲ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಿದ್ದು, ಅವೆಲ್ಲ ಒಂದೇ ತೆರನಾದ ಕಣಗಳು. ಆದರೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಹೀಗೆ ಎರಡು ಬಗೆಯ ಕಣಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕವಚ ಮಾದರಿಗೆ ಅರೆ ಅನುಭವ ಜನ್ಯ (Semi-empirical) ಸೂತ್ರವನ್ನು ರೂಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ರೂಪಿಸಿದವರು ಎಲ್ಸೆಸ್ಸರ್ (Elsasser) ಮತ್ತು ಮೇಯರ್. ಈ ಸೂತ್ರದ ಮೇರೆಗೆ ''ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನು ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿದ್ದರೆ, ಅಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಹೆಚ್ಚು ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತದೆ''. ಈ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಯಕ್ಷಿಣಿ ಸಂಖ್ಯೆ (Magic Numbers) ಗಳೆಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಅವು ಕೆಳಗಿನಂತಿವೆ.

A 2, 8, 20, (40)

B 2, (6), (14) , (28), 50, 82, 126

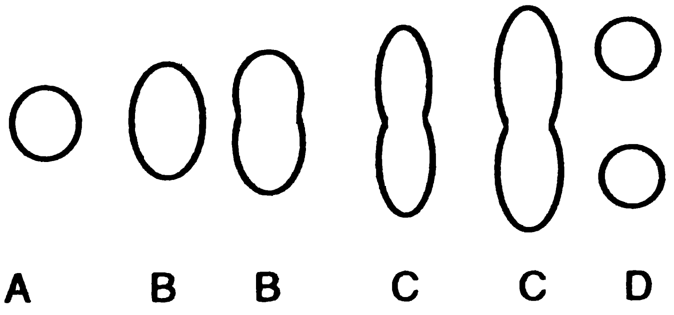
ಇದರಲ್ಲಿ A ಸರಣಿಯನ್ನು $n(n+1)(n+2)/3$ ಸೂತ್ರದಿಂದಲೂ, ಎರಡನೆಯ B ಸರಣಿಯನ್ನು $n(n^2+5)/3$ ಸೂತ್ರದಿಂದಲೂ ಕೊಡಬಹುದಾಗಿದೆ. ಕಂಸದಲ್ಲಿರುವ ಅಂಕಿಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಕಡಿಮೆ ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳನ್ನು ಅರೆಯಕ್ಷಿಣಿ ಸಂಖ್ಯೆ (semi-magic numbers) ಗಳೆನ್ನುತ್ತಾರೆ.

A ಸರಣಿಯಲ್ಲಿರುವ 2, 8 ಅಥವಾ 20 ಪ್ರೋಟಾನು ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳ ಅಕ್ಕಪಕ್ಕದಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. B ಸರಣಿಯಲ್ಲಿರುವ 50, 82, ಪ್ರೋಟಾನು ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿರುವ, ಇಲ್ಲವೆ 126 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿರುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಅತ್ಯಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸುಭದ್ರವಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ - ಬೋರ್ - ವೀಲರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಬೋರ್ ಮತ್ತು ವೀಲರ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸೂಕ್ತ

ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸಿದರು. ಆದಕ್ಕಾಗಿ ಅವರು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ದ್ರವದ ಹನಿಯ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆಂಬ ಭಾವನೆಯನ್ನು ಆಧಾರವಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡರು. ದ್ರವದ ಹನಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ಷೋಭೆ ಅಥವಾ ಸಾಕಷ್ಟು ಕಂಪನ ವಿಸ್ತಾರವಿರುವ ಆಂದೋಲನಗಳನ್ನುಂಟುಮಾಡಿದರೆ, ಅದು ಗೋಲಾಕಾರದಿಂದ ದೀರ್ಘವೃತ್ತಜ ಆಕಾರವನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತದೆ. ಅದರ ಮೇಲ್ಮೈ ಎಳೆತದ ಬಲಗಳು ಅದನ್ನು ಮತ್ತೆ ಗೋಲಾಕಾರಕ್ಕೊಯ್ಯಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದರೆ, ಆಂತರಿಕ ಕ್ಷೋಭೆ ಅಥವಾ ಆಂದೋಲನ ಶಕ್ತಿ ಅದರ ಆಕಾರವನ್ನು ಇನ್ನಷ್ಟು ವಿಕೃತಿಗೊಳಿಸಿ ಡಂಬೆಲ್ಲಿನ ಆಕಾರಕ್ಕೆ ತರಲು ಯತ್ನಿಸುತ್ತವೆ. ಮೇಲ್ಮೈ ಎಳೆತದ ಶಕ್ತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಬಲವಾದರೆ, ಅದು ಮತ್ತೆ ತನ್ನ ಮೊದಲಿನ ಗೋಲಾಕೃತಿಯನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತದೆ. ಒಂದು ವೇಳೆ ಆಂತರಿಕ ಆಂದೋಳನ ಶಕ್ತಿ ಮೇಲ್ಮೈ ಎಳೆತಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಬಲವಾದರೆ, ಡಂಬೆಲ್ಲೇ ಒಡೆದು ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಸಮನಾದ ಎರಡು ಚಿಕ್ಕ ಹನಿಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವಿದಳನೆ ಕೂಡ ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಾಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 5.1

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿರುತ್ತವೆಯಷ್ಟೆ. ಇವು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳು. ಎಲ್ಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಹ್ರಸ್ವ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇವನ್ನು ಆಕರ್ಷಕ ವಿನಿಮಯ

ಬಲಗಳೆಂದು (attractive exchange forces) ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್‌ಸ್ಥಾಯಿ ಬಲಗಳು ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇವು ವಿಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು. ಹೀಗೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಮೇಲೆ ಆಕರ್ಷಕ ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳು ಮತ್ತು ವಿಕರ್ಷಕ ವಿದ್ಯುಸ್ಥಾಯಿ ಬಲಗಳು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಬಲಗಳು ಸಮನಾಗಿದ್ದರೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ದ್ರವದ ಹನಿಯಲ್ಲಿ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಆಂದೋಲನ ಅಥವಾ ಕಂಪನಗಳನ್ನುಂಟುಮಾಡಿ ಒಡೆಯುವಂತೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಪ್ರಚೋದಕ (activation) ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನೀಡಿ ಅದು ಒಡೆಯುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಹಾಗಾದರೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನೀಡುವುದು ಹೇಗೆ ? ಇದನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದ್ದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಸೆರೆ ಹಿಡಿದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರೊಳಗೆ ಕ್ಷೋಭೆಯುಂಟಾಗಿ ಒಡೆಯುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಎಲ್ಲ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ವಿದಳನೆಗೊಳಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ? ಅಥವಾ ಕೆಲ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಈ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಪ್ರಚೋದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವೇ?

A ದ್ರವರಾಶಿಯ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಹಾಗೂ Ze ವಿದ್ಯುದಾವೇಶವಿರುವ ಸ್ಥಿರವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸೊಂದನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸುವಾ. ಅದು ಗೋಲಾಕೃತಿಯಾಗಿದ್ದು, ಅದರ ತ್ರಿಜ್ಯ r_n ಆಗಿರಲಿ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಿದಾಗ, ಅದು ದೀರ್ಘವೃತ್ತಜ (Ellipsoid) ಆಕಾರ ತಾಳುತ್ತದಷ್ಟೆ. ದೀರ್ಘವೃತ್ತಜದ ಉತ್ಕೇಂದ್ರ (eccentricity) $\in$ ಇರಲಿ. ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸುವ ಪೂರ್ವದಲ್ಲಿ ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಮೂಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ಮೇಲ್ಮೈ ಶಕ್ತಿ (Surface Energy) ಯನ್ನು, $E_s = K\,4\pi r_n^2$, ಎಂಬ ಸೂತ್ರದಿಂದ ಕೊಡಲಾಗುತ್ತದೆ ಇಲ್ಲಿ K ಸ್ಥಿರಾಂಕವಿರುತ್ತದೆ.

ಈಗಾಗಲೇ ಗೊತ್ತಿರುವಂತೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ತ್ರಿಜ್ಯ

$r_n = 1.2 \times 10^{-13}\ A^{\frac{1}{3}}$ ಸೆಂ.ಮೀ.

ಈ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಮೇಲ್ಮೈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ

ಆದೇಶಿಸಿದಾಗ,

$$E_s = K\,4\pi\,(1.2 \times 10^{-13})^2\ A^{\frac{2}{3}}$$

ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಕಂಡು ಹಿಡಿದ ಸ್ಥಿರಾಂಕದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಆದೇಶಿಸಿ, ಸರಳೀಕರಿಸಿದರೆ

$E_s = 0.0175\ A^{\frac{2}{3}}$ a.m.u. ದೊರೆಯುತ್ತದೆ.

ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು, ದೀರ್ಘವೃತ್ತಜವಾದಾಗ, ಅದರ ಗಾತ್ರ ಅಷ್ಟೇ ಉಳಿದರೂ ಮೇಲ್ಮೈ ವಿಸ್ತೀರ್ಣದಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗುತ್ತದೆ. ತತ್ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಮೇಲ್ಮೈ ಶಕ್ತಿಯಲ್ಲೂ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗುತ್ತದೆ. ದೀರ್ಘವೃತ್ತಜದ ಮೇಲ್ಮೈ ಶಕ್ತಿ

$$E_s' \simeq K.\,4\pi r_n^2 \left(1 + \frac{2\epsilon^2}{5}\right)$$

$$\simeq 0.0175\ A^{\frac{2}{3}} \left(1 + \frac{2\epsilon}{5}\right)$$

ϵ , ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತಜದ ಉತ್ಕೇಂದ್ರ (eccentricity)ವಿರುತ್ತದೆ.

ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೊಟಾನುಗಳೆಲ್ಲ ಏಕರೂಪವಾಗಿ ವಿತರಣೆಗೊಂಡಿವೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಸ್ಥಾಯಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿ

$$E_e = \frac{3(Ze)^2}{5r_n}$$

ಎಂದು ತೋರಿಸಬಹುದು. ಈ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ r_n ದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಆದೇಶಿಸಿದರೆ,

$$E_e = \frac{3Z^2 e^2}{6 \times 10^{-13} A^{\frac{1}{3}}}$$

ಆದರೆ $e = 4.8 \times 10^{-10}$ e.s.u.

$$\therefore\ E_e = \frac{Z^2 \times (4.8)^2 \times 10^{-20}}{2 \times 10^{-13} A^{\frac{1}{3}}}$$

$$= \frac{23.04 \times 10^{-7} Z^2}{2 \times 0.00149\ A^{\frac{1}{3}}} \text{ a.m.u.}$$

(ಯಾಕೆಂದರೆ, 1 a.m.u. = 0.00149 ಅರ್ಗ)

$$\therefore\ E_e = 7.73 \times 10^{-4}\ Z^2 / A^{\frac{1}{3}} \text{ a.m.u.}$$

ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ವಿಕೃತಿಗೊಂಡು ದೀರ್ಘವೃತ್ತಜವಾದಾಗ, ಸ್ಥಾಯಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿ

$$E_e' \simeq \frac{3(Ze)^2}{5r_n}\left(1 - \frac{\epsilon^2}{5}\right)$$

$$\simeq 7.73 \times 10^{-4} \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}\left(1 - \frac{\epsilon^2}{5}\right) \text{a.m.u.}$$

ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ವಿಕೃತಿಗೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ, ಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಾದ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು,

$$\Delta E = E_s' - E_s + E_e' - E_e$$

ಇರುತ್ತದೆ. ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಪದದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಆದೇಶಿಸಿದರೆ,

$$\Delta E = 0.0175\, A^{\frac{2}{3}} \times \frac{2\epsilon^2}{5} - 7.73 \times 10^{-4} \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} \times \frac{\epsilon^2}{5}$$

ಅಥವಾ

$$\boxed{\Delta E = \frac{\epsilon^2}{5}\left(0.035\, A^{\frac{2}{3}} - \frac{7.73 \times 10^{-4} Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}\right)}$$

ಈ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಕಂಸದಲ್ಲಿರುವ ಎರಡನೆಯ ಪದದ ಮೌಲ್ಯವು ಮೊದಲನೆಯ ಪದದ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕಿಂತ ಅಧಿಕವಾಗಿದ್ದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನುಗಳ ನಡುವೆ ವರ್ತಿಸುವ ವಿಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳ ಕಣದಿಂದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಒಡೆದುಹೋಗಬಹುದಾದಂತಹ ಪ್ರವೃತ್ತಿಯು, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕಾರಣಗಳ ನಡುವೆ ವರ್ತಿಸುವ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳ ಕಾರಣ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಒಟ್ಟಾಗಿ ಹಿಡಿದಿಡುವಂತಹ ಪ್ರವೃತ್ತಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಬಲವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆಗ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಎರಡು ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಗೆ ಅಗತ್ಯವಾದ ನಿಬಂಧನೆಯೆಂದರೆ,

$$\frac{7.73 \times 10^{-4} Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} > 0.035\, A^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{Z^2}{A} > \frac{0.035}{7.73 \times 10^{-4}}$$

ಆದ್ದರಿಂದ

$$\frac{Z^2}{A} > 45$$

ಯಾವ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ವರ್ಗ ಹಾಗೂ ದ್ರವ್ಯ ರಾಶಿಯ ಸಂಖ್ಯೆ ಇವುಗಳ ಅನುಪಾತವು 45 ಕ್ಕಿಂತ ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆಯೋ, ಅಂತಹ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ವಿದಳನೆಯನ್ನು ಪ್ರಚೋದಿಸುವುದು ಸುಲಭ.

${}_{92}U^{238}$ ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸೋಣ.

$$\frac{Z^2}{A} = \frac{92^2}{238} = 36$$

.ಆದ್ದರಿಂದ ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಸ್ವಯಂ ಸ್ಫೂರ್ತಿಯಿಂದ ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳಲಾರದು. ಅದೇ ರೀತಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಸಹ Z^2/A ದ ಮೌಲ್ಯವು 36 ಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಅಧಿಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಕೂಡ ತಂತಾನೇ ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳುವುದಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾಗಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಇತರ ಭಾರ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ವಿದಳನೆಯನ್ನು ಪ್ರಚೋದಿಸಲು ಕನಿಷ್ಠ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಗೆ ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಯೆಂದು ಕರೆಯುವರು. ಬೋರ್-ವೀಲರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಆಧಾರದ ಮೇಲಿಂದ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಿದಾಗ, ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಲ್ಲಿ ವಿದಳನೆಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡಲು ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಯು ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ 5.4 MeV ಮತ್ತು 5.9 MeV ಆಗುತ್ತದೆ.

ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಸೆರೆ ಹಿಡಿದುಕೊಂಡಾಗ,

ವಿಧಳನೆಯುಂಟಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಮೇಲೆ ಸೂಚಿಸಿದಷ್ಟು ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಯು ಅವಕ್ಕೆ ದೊರೆಯಬೇಕು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದಾಗ ಎರಡು ಬಗೆಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನೀಡುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಅದರ ಗತಿಶಕ್ತಿ. ಇನ್ನೊಂದು ಆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಸಂಯುಕ್ತ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಾಗ ಅದಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ (Binding Energy). ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು, ಯುರೇನಿಯಂ-236 ಆಗಿ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಾಗ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನಂತೆ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಬಹುದು.

ಯುರೇನಿಯಂ-235ರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ	235. 1704
ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ	1. 00898
	236. 12602
ಯುರೇನಿಯಂ-236ರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ	236. 119 12
	Δm = 0.00690 amu
	= 6.4 MeV

ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು, ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಅಧಿಕವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಇದರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿದರೆ ಸಾಕು, ವಿದಳನೆಯುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಶೂನ್ಯ ಗತಿಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಸಹ ವಿದಳನೆಗೊಳಿಸಬಲ್ಲವು. ಆದರೆ ಯುರೇನಿಯಂ-239 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ರೂಪುಗೊಂಡಾಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ 5.2 MeV ಇರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಅದು ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಪ್ರಚೋದಕ ಶಕ್ತಿ 5.9 MeV ಇರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಂಡು ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ, ಕನಿಷ್ಠಪಕ್ಷ 0.7 MeV ಗತಿಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನಿಂದ ಅದನ್ನು ತಾಡಿಸಬೇಕು. ಆದರೂ ಅದು ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳುವ ಸಂಭವನೀಯತೆ ಕಡಿಮೆ. 1.2 MeV ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಬಳಸಿದಾಗ ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳುವ ಸಂಭವನೀಯತೆ ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಶಕ್ತಿ

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವಷ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿ ಆಲ್ಬರ್ಟ್ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಬಹುವರ್ಷಗಳ ಮೊದಲೇ ತರ್ಕಿಸಿದ್ದ. ಮತ್ತು ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಯು

$$E = mc^2$$

ಎಂಬ ಸೂತ್ರಕ್ಕನುಸಾರವಾಗಿ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಇಲ್ಲಿ,

m = ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ

c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ

ಮತ್ತು E = ಶಕ್ತಿ ಇರುತ್ತವೆ.

ಯುರೇನಿಯಂ - 235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ವಿದಳನೆ ನಡೆದರೆ, ಆ ಕ್ರಿಯೆ ಕೆಳಗಿನಂತಿರುತ್ತದೆ.

$${}_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{92}U^{236}) \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3\,{}_{0}n^{1}$$

ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಂಡು, ಅದು ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳಾಗಿ ಒಡೆಯುವುದರೊಂದಿಗೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ, ಮೂರು ಹೊಸ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತವೆ. ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ನಷ್ಟವಾದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡುವುದು ಸುಲಭ.

ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯ ಪೂರ್ವದಲ್ಲಿ ಘಟಕಗಳ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ

ಯುರೇನಿಯಂ-235ರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ-	235. 1175	amu
ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ	- 1.00898	
	236. 1265	amu

ವಿದಳನೆಯ ನಂತರ ದೊರೆತ ಘಟಕಗಳ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ

ಬೇರಿಯಂ- 14 1ರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ -	140.9577
ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್- 92 ರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ	91.9264
3 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ -	3 x1.00898
	235 .911

ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ನಷ್ಟವಾದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ

$$\Delta m = 236.1265 - 235.911 = 0.2155 \text{ amu}$$

ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಸಮೀಕರಣದ ಮೇರೆಗೆ 1 amu ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿದರೆ 931 MeV ಶಕ್ತಿ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ

$$E = \Delta m \times C^2 = 0.2155 \times C^2 \simeq 200 \text{ MeV}$$

ಶಕ್ತಿ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯು ವಿದಳನ ತುಂಡುಗಳ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಗತಿಶಕ್ತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಮತ್ತು ಗಾಮಾ ವಿಕಿರಣದ ರೂಪದಲ್ಲೂ ಹೊರಬರುತ್ತದೆ.

1 MeV = 1.6×10^{-6} ಅರ್ಗ್‌ಗಳಿರುವುದರಿಂದ, ಪ್ರತಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯು

3.2×10^{-4} ಅರ್ಗ್‌ಗಳಿಗೆ ಸಮ. ಇದು ತೀರ ಕಡಿಮೆಯೆನಿಸಬಹುದು. ಆದರೆ ಒಂದು ಗ್ರಾಂ - ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ N ಇರುತ್ತದೆ. N ಅವೊಗಾಡ್ರೊ ಸಂಖ್ಯೆಯಿದ್ದು ಅದು 6.025×10^{23}ಗೆ ಸಮ. ಆದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ $6.025 \times 10^{23}/235$, ಅಂದರೆ 2.56×10^{21} ಇರುತ್ತದೆ. ಇವೆಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ವಿದಳನೆ ಗೊಂಡಾಗ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿ.

$$E = 2.56 \times 10^{21} \times 3.2 \times 10^{-4} \text{ ಅರ್ಗ್‌ಗಳು}$$

$$= 8.2 \times 10^{17} \text{ ಅರ್ಗ್‌ಗಳು.}$$

ಆದರೆ 10^7 ಅರ್ಗ್ = 1 ಜೂಲ್ = 1 ವ್ಯಾಟ್ - ಸೆಕೆಂಡ್

ಆದ್ದರಿಂದ 1 KWh = $10^7 \times 10^3 \times 3600$ ಅರ್ಗ್‌ಗಳು.

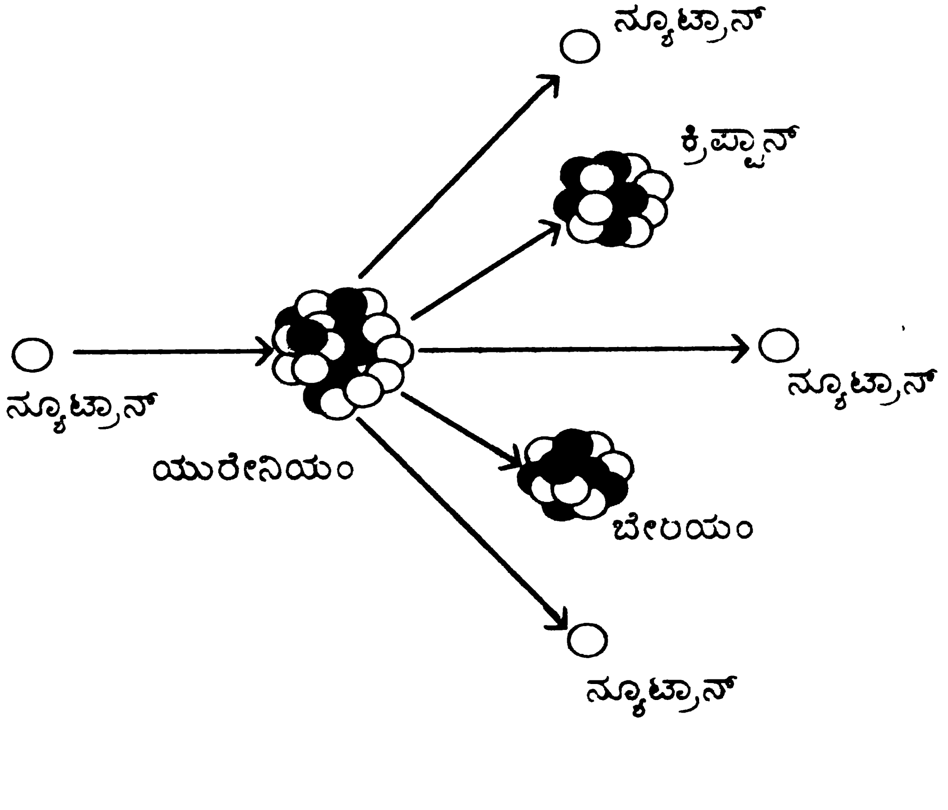
$$\text{ಆದ್ದರಿಂದ ಶಕ್ತಿ } E = \frac{8.2 \times 10^{17}}{10^7 \times 10^3 \times 3600}$$

$$= 2.28 \times 10^4 \text{ KWh}$$

ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಯುರೇನಿಯಂ -235 ಮೂಲವಸ್ತುವನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ವಿದಳನೆಮಾಡಿದರೆ ಇಷ್ಟು ಶಕ್ತಿ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ಇದು 1 ಮೆಗಾವ್ಯಾಟ್ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ವಿದ್ಯುತ್ ಸ್ಥಾವರವು 22.8 ಗಂಟೆಗಳ ಕಾಲ ಅಥವಾ ಸುಮಾರು ಒಂದು ದಿನ ಕಾರ್ಯ ಮಾಡಿದಾಗ ದೊರೆಯುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮ. ಆದ್ದರಿಂದ ಸುಮಾರು ಅರ್ಧಕಿಲೊಗ್ರಾಂ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮೂಲವಸ್ತು 1 ಮೆಗಾವ್ಯಾಟ್ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ವಿದ್ಯುತ್ ಸ್ಥಾವರವನ್ನು ಒಂದು ವರ್ಷದವರೆಗೆ ನಡೆಸಲು ಸಾಕು.

ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು

ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್‌ಗಳೊಂದಿಗೆ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ಸಹ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಅನಂತರ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಸಮರ್ಥಿಸಲಾಯಿತಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಸಹ ಅಳತೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಕೆಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ವಿದಳನೆಯ ನಂತರದ ಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೇ, ಅಂದರೆ 10^{-14} ಸೆಕೆಂಡುಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವನ್ನು ತ್ವರಿತ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು (Prompt Neutrons) ಗಳೆನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಮತ್ತೆ ಕೆಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ವಿದಳನ ತುಂಡುಗಳು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತವೆ. ಇವನ್ನು ವಿಳಂಬಿತ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು (Delayed neutrons) ಗಳೆನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ



ಚಿತ್ರ 5.2 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನ

ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುವಲ್ಲಿ ಇವುಗಳ ಪಾತ್ರ ತುಂಬಾ ಮುಖ್ಯವಾದದ್ದು (ಈ ವಿಷಯ ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಬರಲಿದೆ). ಝಿನ್ ಮತ್ತು ಸಿಲಾರ್ಡ್ ಅವರು ಪ್ರತಿ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಸರಾಸರಿ 2.5 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟರು. ಪ್ರತಿ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಸಮನಾದ ಸಂಖ್ಯೆಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗದೇ ಹೋಗುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವುಂಟು. ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ವಿದಳನೆಗೊಂಡಾಗ ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳ ಪೈಕಿ ಒಂದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ 85 ರಿಂದ 104 ರವರೆಗೆ ಮತ್ತು ಇನ್ನೊಂದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ 130 ರಿಂದ 149 ರವರೆಗೆ ಇರುವ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳುಂಟು. ಅದರಲ್ಲಿ ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಯೂ ಒಂದು.

ಬೇರಿಯಂ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ 138 ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನಿನ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ 84. ಇವುಗಳ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವು ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅವು ಬೀಟಾ ಕಣಗಳನ್ನಾಗಲೀ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನಾಗಲೀ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ,. ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ತಲುಪುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಉತ್ಸರ್ಜಿತವಾಗುವಂಥವು, ವಿಲಂಬಿತ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು.

ಈಗ ಬೇರಿಯಂ, ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ ಅಲ್ಲದೆ ಇನ್ನೊಂದು ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸುವಾ. ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಂಡು, ವಿದಳನೆಯಾದ ನಂತರ ಬ್ರೋಮಿನ್ ಮತ್ತು ಲ್ಯಾಂಥೆನೈಡ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳೂ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನಂತೆ ಕೊಡಬಹುದು.

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{92}U^{236}) \rightarrow {}_{35}Br^{87} + {}_{57}La^{146} + 3\,{}_{0}n^{1}$$

ಬ್ರೋಮಿನ್ - 87 ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಅರ್ಧಾಯುಮಾನ 56 ಸೆಕೆಂಡುಗಳು. ಅದು ಬೀಟಾ ಕಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ.

$$_{35}Br^{87} \rightarrow {}_{36}Kr^{87} + {}_{-1}e^{0}$$

ಆನಂತರ ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ - 87 ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ.

$$_{36}Kr^{87} \rightarrow {}_{36}Kr^{86} + {}_{0}n^{1}$$

ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ - 86 ಸ್ಥಿರವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿರುತ್ತದೆ.

6. ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ

ಅಮೇರಿಕೆಯ ಷಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಅವರಣದಲ್ಲಿ ಕೋಟೆಯಂತಹ ಹಳೆಯ ಕಟ್ಟಡವೊಂದಿದೆ. ಅದರ ಗೋಡೆಗಳು ಮಸಿ ಹಿಡಿದಿವೆ. ಉದ್ದನೆಯ ಹೊಗೆ ಕೊಳವೆಗಳು ನಿಮಗೆ ಅಷ್ಟೇನೂ ಆಕರ್ಷಕವಾಗಿ ಕಾಣುವುದಿಲ್ಲ. ನೀವು ಪ್ರವಾಸಿಗಳಾಗಿದ್ದರೆ ನಿಮ್ಮ ಬಸ್ಸನ್ನು ನಿಲ್ಲಿಸಿ,

ON DECEMBER 2, 1942
MAN ACHIEVED HERE
THE FIRST SELF-SUSTAINING CHAIN REACTION
AND THEREBY INITIATED THE
CONTROLLED RELEASE OF NUCLEAR ENERGY

ನಿಮ್ಮ ಗೈಡು ಗೋಡೆಯ ಮೇಲಿರುವ ಒಂದು ಫಲಕವನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತಾನೆ. (ಅದರ ಛಾಯಾಚಿತ್ರವನ್ನು ಮೇಲೆ ಕೊಟ್ಟಿದೆ). **" 1942ರ ಡಿಸೆಂಬರ್ 2 ರಂದು, ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲ ಬಾರಿಗೆ ಮಾನವ ಇಲ್ಲಿ ಸ್ವಯಂಪೋಷಿತ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡುವುದರ ಮೂಲಕ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಶಕ್ತಿಯ ಬಿಡುಗಡೆಯ ಮೇಲೆ ನಿಯಂತ್ರಣವನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದ".** ಎಂಬುದು ಈ ಫಲಕದ ಮೇಲೆ ಬರೆದ ವಾಕ್ಯದ ಅರ್ಥ. ಪರಮಾಣು ಯುಗ ಆರಂಭವಾದದ್ದು ಹೀಗೆ.

ಜರ್ಮನಿಯಲ್ಲಿ ಹಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್‌ಮನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆ ನಡೆಸಿದ ಹಾಗು ಮೈಟ್ನರ್ ಮತ್ತು ಫ್ರಿಷ್ ಅದನ್ನು ಖಚಿತಪಡಿಸಿದ ಸಮಾಚಾರ ತಿಳಿದೊಡನೆ ಬೋರ್, ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಭೇಟಿಮಾಡಲು ಧಾವಿಸಿದ. ಫರ್ಮಿ ಆಗ ಅಮೇರಿಕೆಯ ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ. ಬೋರ್ ಕೊಲಂಬಿಯಾಕ್ಕೆ ಬಂದಾಗ ಫರ್ಮಿ ಎಲ್ಲಿಯೋ ಹೋಗಿದ್ದನೆಂದು ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಬೋರ್‌ನಿಗೆ ಸಿಕ್ಕಿದ್ದು, ಹರ್ಬರ್ಟ್

ಆಂಡರ್ಸನ್. ಆತ ಫರ್ಮಿಯ ಜತೆ ಕೆಲಸಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ತರುಣ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಬೋರ್ ಹರ್ಬರ್ಟ್ ಆಂಡರ್ಸನ್ ಜೊತೆಯೇ ಸುದೀರ್ಘವಾಗಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಚರ್ಚಿಸಿದ. ಆಂಡರ್ಸನ್ ಅತ್ಯಂತ ಗಮನವಿಟ್ಟು ಬೋರ್‌ನ ಮಾತುಗಳನ್ನು ಆಲಿಸಿದ. ಬೋರ್ ತೆರಳಿದ ನಂತರ ಆತ ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಹುಡುಕಿಕೊಂಡು ಹೊರಟ.

ಚಿಂತಾಕುಲ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯನ್ನು ಕುರಿತು ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನೇಕೆ ಮುಂದುವರಿಸಬಾರದೆಂದು ಹರ್ಬರ್ಟ್ ಆಂಡರ್ಸನ್, ಫರ್ಮಿಯನ್ನು ಒತ್ತಾಯಿಸತೊಡಗಿದ. ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೃತಕವಾಗಿ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರಚೋದಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಕೈಗೊಂಡಿದ್ದನಷ್ಟೆ. ಆಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಆಕರಗಳನ್ನು ಸಿದ್ಧಪಡಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ತುಂಬಾ ಪ್ರಯಾಸಪಡಬೇಕಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಆದರೆ ಈಗ ಕಣವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳ ಸೃಷ್ಟಿಯಾಗಿತ್ತು. ಈ.ವೊ. ಲಾರೆನ್ಸ್ ಸೈಕ್ಲೊಟ್ರಾನನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ, ಅದಕ್ಕಾಗಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಗಳಿಸಿದ್ದ. ಇದು ವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ಕಣಗಳನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಗೊಳಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಅವುಗಳ ಗತಿಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಪಡೆದಿರುತ್ತದೆ. ಆಗ ಕೊಲಂಬಿಯಾದಲ್ಲೂ ಒಂದು ಸೈಕ್ಲೊಟ್ರಾನ್ ಇದ್ದು, ಅದರ ನಿರ್ಮಾಣದಲ್ಲಿ ಆಂಡರ್ಸನ್ ಸಹ ಭಾಗವಹಿಸಿದ್ದ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಬಳಸುವ ಹಕ್ಕು ಆಂಡರ್ಸನ್ನಿಗಿತ್ತು. ಡ್ಯುಟೆರಾನುಗಳನ್ನು ಸೈಕ್ಲೊಟ್ರಾನಿನಿಂದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಗೊಳಿಸಿ ಬೆರಿಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಪ್ರವಾಹವೇ ಹೊರಹೊಮ್ಮುತ್ತದೆ. ಅದು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಬಲವಾಗಿರುತ್ತದೆಂದರೆ, ಫರ್ಮಿ ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಆಕರದ ಸುಮಾರು 100,000 ಪಟ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಇದೊಂದು ಅಪೂರ್ವ ಸೌಲಭ್ಯವೇ ಸರಿ.

ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗದ ಮುಖ್ಯಸ್ಥ ಪ್ರೊ. ಪೆಗ್ರಾಮ್, ಫರ್ಮಿ, ಡನಿಂಗ್ ಮತ್ತು ಆಂಡರ್ಸನ್ ನಾಲ್ವರೂ ಸೇರಿ

ತಯಾರಿಸಿದರು. ಅವರೊಂದಿಗೆ ಮತ್ತಿಬ್ಬರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸೇರಿಕೊಂಡರು. ಒಬ್ಬ ಹಂಗೇರಿ ಮೂಲದ ಲಿಯೊ ಝಿಲಾರ್ಡ್ ಇನ್ನೊಬ್ಬ ಕೆನಡಾ ಮೂಲದ ವಾಲ್ಟರ್ ಝಿನ್.

ಈ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಯುದ್ಧದ ಉದ್ದೇಶಗಳಿಗಾಗಿ ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಿತ್ತು. ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ಫರ್ಮಿ ತರ್ಕಸಿದ್ಧ. ಆದರೆ ಅದನ್ನು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ತೋರಿಸುವವರೆಗೆ ಏನನ್ನೂ ಹೇಳುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ. ಹಾಗೆ ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಗೊಳ್ಳಲು ಸಾಕಷ್ಟು ಹಣ ಬೇಕು. ಇಟಲಿಯಲ್ಲಾದರೆ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳು ಸರಕಾರದ ನೇರ ಹತೋಟಿಯಲ್ಲಿದ್ದವು. ಅಮೇರಿಕ ಪ್ರಜಾಸತ್ತಾತ್ಮಕ ರಾಷ್ಟ್ರ. ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಿಗೆ ಸ್ವಯಮಾಡಳಿತ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿತ್ತು. ಸರಕಾರ ಮತ್ತು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳ ನಡುವೆ ನೇರ ಸಂಪರ್ಕ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿರಲಿಲ್ಲ. ಪ್ರೊ.ಪೆಗ್ರಾಮ್ ನೌಕಾ ಅಧಿಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಕಾಗದ ಬರೆದು, ಕೊಲಂಭಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಕೆಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದ್ದು, ಯುರೇನಿಯಂ ವಿದಳನೆಯಿಂದ, ಸಾಮಾನ್ಯ ಸ್ಫೋಟಕಗಳಿಗಿಂತ ಹತ್ತಾರು ಲಕ್ಷ ಪಟ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆಯೆಂದೂ, ಅದನ್ನು ಯುದ್ಧದ ಉದ್ದೇಶಕ್ಕೆ ಬಳಸುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಕುರಿತು ಯೋಚಿಸಬೇಕೆಂದೂ ತಿಳಿಸಿದರು.

ಅದಾಗಲೇ ಜರ್ಮನಿಯ ಸರ್ವಾಧಿಕಾರಿ ಹಿಟ್ಲರ್ ಅಕ್ಕಪಕ್ಕದ ದೇಶಗಳನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸಿಕೊಂಡಿದ್ದ. ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಮೇಲೆ ಇನ್ನೂ ಆಕ್ರಮಣ ಮಾಡಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಆಕ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ತಳ್ಳಿಹಾಕುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ. ಜರ್ಮನಿ ವಶಪಡಿಸಿಕೊಂಡಿದ್ದ ಝೆಕೊಸ್ಲೊವಾಕಿಯಾದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಲೋಹದ ಗಣಿಗಳಿದ್ದವು. ಅವರು ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಯುರೇನಿಯಂ ರಫ್ತನ್ನು ನಿಲ್ಲಿಸಿದ್ದರು. ಅಲ್ಲದೆ ಯುರೇನಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯನ್ನು ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲು ಗುರುತಿಸಿದ್ದೇ ಜರ್ಮನಿಯಲ್ಲಿ. ಒಂದು ವೇಳೆ ಜರ್ಮನಿಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೇ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ಮೊದಲು ನಿರ್ಮಿಸಿದರೆ ಏನು ಗತಿ? ಎಂದು ಅಮೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ, ಈ ವಿಷಯ ಕುರಿತು ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೆಲ್ಲ ಚಿಂತೆಗೀಡಾದರು. ಇದಕ್ಕೇನಾದರೂ ಮಾಡಬೇಕೆಂದುಕೊಂಡರು.

ಝಿಲಾರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಆತನ ದೇಶದವನೇ ಆದ ಇನ್ನೊಬ್ಬ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಯುಜಿನ್ ವಿಗ್ನರ್ ಸೇರಿಕೊಂಡು ಅಮೇರಿಕೆಯ ಅಧ್ಯಕ್ಷ ರೂಸ್‌ವೆಲ್ಟ್‌ರ ಹೆಸರಿಗೆ ಒಂದು ಪತ್ರವನ್ನು ಸಿದ್ಧಪಡಿಸಿದರು. *(ಈ ಪತ್ರದ ನಕಲನ್ನು ಮುಂದಿನ ಪುಟದಲ್ಲಿ ಕೊಟ್ಟಿದೆ)* ಅದರಲ್ಲಿ ಜರ್ಮನಿಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆ ಕುರಿತು ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಸಂಶೋಧನೆ ಮತ್ತು ಬೆಳವಣಿಗೆಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ವಿವರಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ಅಮೇರಿಕೆಯಲ್ಲೂ ಸಹ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಝಿಲಾರ್ಡ್ ಇದೇ ಬಗೆಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿದ್ದರು. ಸರಕಾರ ಈ ಬಗ್ಗೆ ತೀವ್ರಗಮನ ಹರಿಸಬೇಕೆಂದು ಪತ್ರದಲ್ಲಿ ಮನವಿ ಮಾಡಲಾಗಿತ್ತು. ಝಿಲಾರ್ಡ್, ವಿಗ್ನರ್ ಮತ್ತು ಎಡ್ವರ್ಡ್ ಟೆಲ್ಲರ್ ಮೂವರು ಸೇರಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಅವರಿಂದ ಈ ಪತ್ರಕ್ಕೆ ರುಜು ಹಾಕಿಸಿದರು. ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಅದಾಗಲೇ ಸಾಕಷ್ಟು ಹೆಸರುಗಳಿಸಿದ್ದುದರಿಂದ, ಅವರ ಮಾತಿಗೆ ಮನ್ನಣೆ ಸಿಗುವುದೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ನಂಬಿಕೆಯಿತ್ತು. ಅವರ ನಂಬಿಕೆ ನಿಜವಾಯಿತು. ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಕಾಗದಕ್ಕೆ ರುಜು ಹಾಕಿದ್ದು 1939ರ ಆಗಸ್ಟ್ 2 ರಂದು. ಕಾಗದ ಅಧ್ಯಕ್ಷ ರೂಸ್‌ವೆಲ್ಟರ ಕೈಸೇರಿದ್ದು, ಅಕ್ಟೋಬರ್ 11 ರಂದು. ಅವರು ಕೊಡಲೇ ತೀರ್ಮಾನತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಯುರೇನಿಯಂ ಸಲಹಾ ಸಮಿತಿಯನ್ನು ನೇಮಕ ಮಾಡಿದರು.

ಅಚ್ಚರಿಯ ಸಂಗತಿಯೆಂದರೆ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಅಮೇರಿಕಾ ಸರಕಾರದ ಮೇಲೆ ಒತ್ತಡ ತಂದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಾನೆಚ್ಚು ಜನ ಬೇರೆ ದೇಶದವರೇ ಆಗಿದ್ದರು. ಝಿಲಾರ್ಡ್, ವಿಗ್ನರ್ ಮತ್ತು ಟೆಲ್ಲರ್ ಹಂಗೇರಿಯವರು. ಫರ್ಮಿ ಇಟಲಿ ದೇಶದವ. ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಸ್ವತಃ ಜರ್ಮನಿಯವರು.

ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್, ಅಮೇರಿಕೆಯ ಅಧ್ಯಕ್ಷ ರೂಸ್‌ವೆಲ್ಟರಿಗೆ ಕಾಗದ ಬರೆದ ನಂತರ ಯುರೇನಿಯಂ ಸಲಹಾ ಸಮಿತಿ ಕೇವಲ ಸಭೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸುತ್ತ ಯಾವುದೇ ಖಚಿತ ತೀರ್ಮಾನ ಕೈಗೊಳ್ಳದೆ ಸುಮಾರು ಎರಡು ವರ್ಷಗಳ ವರೆಗೆ ಕಾಲಹರಣ ಮಾಡಿತು. ಸರಕಾರದಿಂದ, ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಲು ಸಹಾಯಧನವೂ ದೊರೆಯಲಿಲ್ಲ. ಫರ್ಮಿ ತಂಡದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಕುಂಟುತ್ತಲೇ ಸಾಗಿದವು.

August 2nd 1939

F. D. Rosevelt,
President of the United States
White House,
Washington, D.C.

Sir,

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations :

In the course of the last four months it has been made probable through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, I understand that Germany has actually stopped the sale of Uranium from the Czechoslovakian mines which has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, Von Weizsacker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institute in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated

Yours very truly,

sd/-

(Albert Einstein)

ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯ ಪೂರ್ವ ಸನ್ನಾಹ

ಯುರೇನಿಯಂ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಹೊಸದಾಗಿ ಒಂದೆರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂದು ಫರ್ಮಿ ತರ್ಕಿಸಿದ್ದನಷ್ಟೆ. ಕೊಲಂಬಿಯಾ ಮತ್ತು ಅಮೇರಿಕದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಫರ್ಮಿಯ ಊಹೆಯನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಿದವು. ಆದ್ದರಿಂದ ತಾತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಯೋಚಿಸಿದಾಗ, ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆ ಸಾಧ್ಯವೆಂದು ಕಂಡು ಬಂತು. ಆದರೆ ಅದನ್ನು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಸಾಧಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಕ್ರಮಿಸಬೇಕಾದ ದೂರವಿನ್ನೂ ಸಾಕಷ್ಟಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ಅದಕ್ಕೆ ಅನೇಕ ಅಡೆತಡೆಗಳಿದ್ದವು. ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಒಂದು ಸಣ್ಣಗುಂಪು ಈ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಪ್ರಯತ್ನವನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿತು. ಅವರಿಗೆ ಒಮ್ಮೆಲೆ ಎರಡು ಪ್ರಮುಖ ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಎದುರಾದವು. ಒಂದು ಯುರೇನಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಎಷ್ಟು ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆಂದರೆ, ಅವುಗಳನ್ನು ಮತ್ತೆ ಯುರೇನಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ವಿದಳನೆಗೊಳಿಸಲು ಗುಂಡುಗಳಂತೆ ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಎರಡನೆಯದಾಗಿ ಅನೇಕ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಆ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿಂದ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಕೆಲವನ್ನು ಆ ವಸ್ತುವೇ ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಉಳಿಯುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ತೀರಾ ಕಡಿಮೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಬೇಕಾದರೆ, ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಬೇಕು ಮತ್ತು ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಸಿಡಿದು ಹೋಗುವುದನ್ನು ತಡೆಯಬೇಕು. ಫರ್ಮಿ ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿದ್ದಾಗಲೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ತಿಳಿದಿದ್ದ. ಪ್ಯಾರಾಫಿನ್ ಮತ್ತು ನೀರಿನಂತಹ ಹೈಡ್ರೋಜನ್‌ಯುಕ್ತ ವಸ್ತುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸುತ್ತವೆ. ಕೊಲಂಬಿಯಾದಲ್ಲಿ ಸಹ ಫರ್ಮಿ, ಝಿಲಾರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಆಂಡರ್‌ಸನ್ನರು ನೀರಿನೊಳಗೆಯೇ ಯುರೇನಿಯಂ ವಿದಳನೆಯ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿದರು. ನೀರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ನಿಗ್ರಹಿಸುವುದರಿಂದ, ಅದನ್ನು ಭೌತಿಕ

ಪರಿಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ ನಿಗ್ರಾಹಕ (Moderator) ಎಂದು ಕರೆದರು. ಆದರೆ ನಂತರದಲ್ಲಿ ನಡೆಸಿದ ಕೆಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನೀರು ಅಥವಾ ಮತ್ತಾವುದೇ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಯುಕ್ತ ವಸ್ತು ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕವಲ್ಲವೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಯಾಕೆಂದರೆ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಹಳಷ್ಟು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಗುವುದೇ ಇಲ್ಲ. ಆಗ ಝಿಲಾರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿಯವರು, ಕಾರ್ಬನ್ನನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಯತ್ನಿಸಿದರು. ಕಾರ್ಬನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಕುಂಠಿತಗೊಳಿಸುತ್ತದೆ. ಮತ್ತು ಅದು ನೀರು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವುದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಿಮೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಕಾರ್ಬನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಪರಿಶುದ್ಧವಾಗಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಇವೆರಡು ಗುಣಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಲ್ಲುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಶುದ್ಧವಾದ ಗ್ರಾಫೈಟನ್ನು ಈ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಬಳಸಲು ನಿರ್ಧರಿಸಿದರು.

ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಾಧನೆಗಾಗಿ ಅವರೊಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ರೂಪಿಸಿಕೊಂಡರು. ಆ ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ ಎರಡೂ ಇರಬೇಕಷ್ಟೆ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಅವರು ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡು ಕೆಲವು ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಲೋಹದ ಸಿಲಿಂಡರುಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದರು. ಅನಂತರ ಒಂದು ಸಾಲು ಕೇವಲ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳು, ಅದರ ಮೇಲೆ ಯುರೇನಿಯಂಯುಕ್ತ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳ ಸಾಲು, ಮತ್ತೆ ಅದರ ಮೇಲೆ ಕೇವಲ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳ ಸಾಲು, ಹೀಗೆ ಒಂದರ ಮೇಲೊಂದು ಪೇರಿಸುತ್ತ ಹೋದರು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿನ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆ (Atomic Pile) ಎಂದು ಹೆಸರು ಬಂದಿತು. ಈ ಪೇರಿಕೆಯ ಗಾತ್ರವೆಷ್ಟಿರಬೇಕೆಂಬುದು ಆಗ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ತಿಳಿದಿರಲಿಲ್ಲ. ಅದು ಯಾವ ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸುವುದೋ, ಆ ಗಾತ್ರಕ್ಕೆ ಅವಧಿಕ ಗಾತ್ರ (Critical Size)ವೆನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಘನ, ಪಿರ್ಯಾಮಿಡ್, ಗೋಳ ಹೀಗೆ ವಿವಿಧ ಆಕಾರಗಳ ಪೇರಿಕೆ ತಯಾರಿಸಿ, ಅದರಲ್ಲಿ ಯಾವ ಆಕಾರ ಉತ್ತಮವಾಗಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡಬಲ್ಲುದೆಂಬುದನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದರು. ಆದರೆ ಅದಷ್ಟು ಸುಲಭವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಇಡೀ ಅಮೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಆಗ ಲಭ್ಯವಾಗಿದ್ದ ಯುರೇನಿಯಂ ಕೆಲ ಗ್ರಾಂಗಳಷ್ಟು

ಮಾತ್ರ. ಮತ್ತು ಪೇಟೆಯಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್, ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಬೇಡಿಕೆಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಪರಿಶುದ್ಧವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ ಹಾಗೂ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಬೇಕಾಗಿತ್ತು. ಅವರು ಪೇರಿಕೆಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದಾದ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್‌ನಿಂದ ಜಗತ್ತಿನಲ್ಲಿರುವ ಮಗುವಿನಿಂದ ಮೊದಲುಗೊಂಡು ಪ್ರತಿಯೊಬ್ಬರಿಗೂ ಒಂದೊಂದು ಪೆನ್ಸಿಲ್ಲನ್ನು ಕೊಡಬಹುದಿತ್ತು.

ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಬೃಹತ್‌ಪ್ರಮಾಣದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸುವುದು ಕಷ್ಟದ ಕೆಲಸವಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ಫರ್ಮಿ ತಂಡದಲ್ಲಿದ್ದ ಝಿಲಾರ್ಡ್ ಅತ್ಯಂತ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಮನುಷ್ಯನಾಗಿದ್ದ. ಉನ್ನತಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಆತನಿಗೆ ಸಂಪರ್ಕವಿತ್ತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಆತ ಗ್ರ್ಯಾಂಗಳಲ್ಲಿ ಲಭ್ಯವಿದ್ದ ಯುರೇನಿಯಂ ಮತ್ತು ಪರಿಶುದ್ಧ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟನ್ನು ಟನ್ನುಗಟ್ಟಲೆ ಸಂಗ್ರಹಿಸುವ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ಒಪ್ಪಿಕೊಂಡ. ಆದರೆ ಇದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಆರ್ಥಿಕ ಸಹಾಯ ನೀಡುವವರಾರು ? ಝಿಲಾರ್ಡ್‌ನಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಶ್ನೆಗೂ ಉತ್ತರವಿತ್ತು. 1939 ರಲ್ಲಿ ಆತ ಐನ್‌ಸ್ಟೀನ್ ಅವರಿಂದ ಅಧ್ಯಕ್ಷ ರೂಸ್‌ವೆಲ್ಟರಿಗೆ ಕಾಗದ ಬರೆಸಿದ್ದನಷ್ಟೆ. ಆ ಕಾರಣ ಅಧ್ಯಕ್ಷರು ಯುರೇನಿಯಂ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಆಸಕ್ತಿ ತಾಳಿದ್ದರು. ಅದಕ್ಕೆ ಪೂರಕವಾಗಿ ನೌಕಾ ಮತ್ತು ಭೂಸೇನಾ ವಿಭಾಗದಿಂದ, ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಕ್ಕೆ 1940ರ ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಸಂಶೋಧನೆಗಾಗಿ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಖರೀದಿಸಲು ಸುಮಾರು 6000 ಡಾಲರುಗಳ ಅನುದಾನ ದೊರೆತಿತ್ತು. ಇದು ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ್ದಾದರೂ ಸರಕಾರ ತಳೆದ ಆಸಕ್ತಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಆಶಾಭಾವನೆಯನ್ನು ಹುಟ್ಟಿಸಿತ್ತು. 1940ರ ವಸಂತ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ವಿಭಾಗಕ್ಕೆ ಕೆಲ ಟನ್ನುಗಳಷ್ಟು ಶುದ್ಧ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಬಂದಿತು. ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಆಂಡರ್ಸನ್ ಅದನ್ನು ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿ ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಒಂದೆಡೆ ಸಂಗ್ರಹಿಸತೊಡಗಿದರು. ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ಯಶಸ್ವಿಗೊಳಿಸಲು ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ ಮತ್ತು ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಲು ಕೆಲ ತಿಂಗಳುಗಳೇನು, ವರ್ಷಗಳೇ ಬೇಕಾಗಬಹುದೆಂಬುದರ ಬಗ್ಗೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಸ್ಪಷ್ಟ ಅರಿವಿತ್ತು. ಅವರಿಗೂ ಕೂಡ ಅಂತಹ ಅವಸರವೇನಿರಲಿಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ

ಅವರಿಗಿನ್ನೂ ತಾವು ಬಳಸುವ ವಸ್ತುಗಳ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು ತಿಳಿದಿರಲಿಲ್ಲ. ಅವುಗಳ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುವುದಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೊಡನೆ ಹೇಗೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆಂಬುದರ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನೂ ಸಹ ಅವರು ಆರಂಭಿಸಿದ್ದರು. ಅವರು ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಸಪ್ಪೆಯಾಗಿದ್ದರೂ, ತೀರಾ ಮಹತ್ವದವಾಗಿದ್ದವು.

ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್‌ನ ಬಗ್ಗೆ ಅಧ್ಯಯನ ನಡೆಸಿದ ಬಳಿಕ, ಯುರೇನಿಯಂನ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನು ಕೈಗೆತ್ತಿಕೊಂಡರು. ಅದು ಹೇಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ? ಹೀರಿಕೊಂಡ ನಂತರ ಪುನಃ ಅವುಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಬಗೆ ಹೇಗೆ? ಯುರೇನಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ವಿದಳನೆ ನಡೆಯಬೇಕಾದರೆ, ಅಗತ್ಯವಿರುವ ನಿಬಂಧನೆಗಳಾವುವು? ಮುಂತಾದ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಫರ್ಮಿ ತಂಡವು ಉತ್ತರ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾಗಿತ್ತು. ಇದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ 1940ರ ಏಪ್ರಿಲ್ 28 ರಂದು ಅಮೇರಿಕದ ಅಧ್ಯಕ್ಷರು ನೇಮಕ ಮಾಡಿದ, ಯುರೇನಿಯಂ ಸಲಹಾ ಸಮಿತಿಯ ಸಭೆ ಸೇರಿತ್ತು. ಜರ್ಮನಿಯ ನಾಜಿ ಸರಕಾರವು ಕೈಸರ್ ವಿಲ್‌ಹೆಲ್ಮ್ ಸಂಸ್ಥೆಯ ಹೆಚ್ಚಿನ ಭಾಗವನ್ನು ಯುರೇನಿಯಂ ಸಂಶೋಧನೆಗಾಗಿ ಮೀಸಲಿಟ್ಟ ಸುದ್ದಿ ತಿಳಿದೂ ಸಹ, ಅಮೇರಿಕದ ಯುರೇನಿಯಂ ಸಲಹಾ ಸಮಿತಿಯು, ಪರಮಾಣು ಯೋಜನೆಯನ್ನು ಕೈಗೆತ್ತಿಕೊಳ್ಳಲು ಸರಕಾರಕ್ಕೆ ಶಿಫಾರಸು ಮಾಡಲಿಲ್ಲ. ಅದು ಕಾದು ನೋಡುವ ನೀತಿಯನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿತು. ಹಾಗಾಗಿ ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಖರೀದಿ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗದೇ ಹೋಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ತುಂಬಾ ನಿಧಾನವಾಗಿ ಮುಂದುವರಿದವು. ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಅವರ ತಂಡದ ಇತರ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1941ರ ಆರಂಭದ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಕನಿಷ್ಠ ಚಿಕ್ಕದಾದ ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯನ್ನಾದರೂ ಕಟ್ಟಬೇಕೆಂದು ಯತ್ನಿಸತೊಡಗಿದರು. ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಬೇಕಾದರೆ ಪೇರಿಕೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಎತ್ತರವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಅವರು ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಿದ್ದರು. ಅಷ್ಟು ಎತ್ತರದ ಛಾವಣಿಯಿರುವ ಕಟ್ಟಡ ಕೊಲಂಬಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಲಭ್ಯವಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಹರ್ಬರ್ಟ್ ಆಂಡರ್ಸನ್ ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ

ಸೂಕ್ತವಾದ ಕೊಠಡಿಯನ್ನು ಹುಡುಕುತ್ತ ನ್ಯೂಯಾರ್ಕ್ ನಗರದಲ್ಲಿ ಅಲೆದಾಡುತ್ತಿದ್ದ. ಅದು 1941ರ ಡಿಸೆಂಬರ್ ತಿಂಗಳು. ಆಗ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತ ಘಟನೆ ನಡೆದು ಯುರೇನಿಯಂ ಯೋಜನೆಯ ಚಿತ್ರಣವೇ ಬದಲಾಗಿ ಹೋಯಿತು. ಜಪಾನು ಅಮೇರಿಕದ ನೌಕಾನೆಲೆ ಪರ್ಲ್ ಹಾರ್ಬರಿನ ಮೇಲೆ ಅಪ್ರಚೋದಿತ ದಾಳಿ ಮಾಡಿತು. ಆಗ ಅಮೇರಿಕೆ ನೇರವಾಗಿ ದ್ವಿತೀಯ ಮಹಾಯುದ್ಧದಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶಿಸುವುದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು. ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಅಮೇರಿಕ ಸರಕಾರ ಯುರೇನಿಯಂ ಯೋಜನೆಯನ್ನು ತೀವ್ರಗತಿಯಿಂದ ನಡೆಸಲು ಹಸಿರು ನಿಶಾನೆ ತೋರಿಸಿತು. ಈ ಯೋಜನೆಯನ್ನು ಅನೇಕ ವಿಭಾಗಗಳಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಿ, ಪ್ರತಿಯೊಂದು ವಿಭಾಗಕ್ಕೂ ಒಬ್ಬೊಬ್ಬ ಹಿರಿಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಯನ್ನು ಮುಖ್ಯಸ್ಥನನ್ನಾಗಿ ನೇಮಕಮಾಡಿತು. ಮತ್ತು ಇವೆಲ್ಲ ವಿಭಾಗಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲಸಮಾಡುವಂತೆ ಏರ್ಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಒಂದು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆ ಆರಂಭವಾದರೆ, ಇನ್ನೊಂದರಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ಕಾರ್ಯ ನಡೆಯಿತು. ಬರ್ಕ್ಲಿಯಲ್ಲಿದ್ದ ಕೆಲಿಫೋರ್ನಿಯ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ತಂಡ ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239ರ ಉತ್ಪಾದನೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿತು. ಫರ್ಮಿಯ ಹಳೆಯ ಸ್ನೇಹಿತ ಎಮಿಲಿಯೊ ಸೆಗ್ರೆ ಈ ತಂಡದಲ್ಲಿದ್ದ. ಹೀಗೆ ಇಡೀ ಯೋಜನೆ ಆಕ್ಟೋಪಸ್ಸಿನ ಬಾಹುಗಳಂತೆ ಟಿಸಿಲೊಡೆದು ಬೆಳೆಯುತ್ತ ನಡೆಯಿತು.

ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ ತೊಡಗಿದ್ದ ಫರ್ಮಿ ತಂಡದ ನೇತೃತ್ವವನ್ನು ಪ್ರೊಫೆಸರ್ ಆರ್ಥರ್ ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಅವರಿಗೆ ವಹಿಸಲಾಯಿತು. ಆಗ ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಷಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿದ್ದರು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವರು ಕೊಲಂಬಿಯಾದಲ್ಲಿ ಪೇರಿಕೆ ನಿರ್ಮಾಣದಲ್ಲಿ ನಿರತವಾಗಿದ್ದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳನ್ನು ಅವರ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯ ಸಹಿತ ಷಿಕಾಗೋಕ್ಕೆ ವರ್ಗಾಯಿಸಿಕೊಂಡರು.

ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಾಧನೆ

1942ರ ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ಷಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಹೊಸ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಲೋಹಶಾಸ್ತ್ರ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯ (Metallurgical Laboratory) ವೆಂದು ಹೆಸರಿಟ್ಟರು. ವಿಚಿತ್ರವೆಂದರೆ, ಆ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಹೆಸರಿಗೆ ಕೂಡ ಒಬ್ಬ ಲೋಹಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞನೂ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಷಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಸ್ಕ್ವಾಷ್ ಆಟವಾಡುವ ಒಂದು ಕ್ರೀಡಾಂಗಣವಿತ್ತು. ಅದು 30 ಅಡಿ ಅಗಲ, 60 ಅಡಿ ಉದ್ದ ಮತ್ತು 26 ಅಡಿ ಎತ್ತರವಿದ್ದಿತು. ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಈ ಸ್ಥಳ ಅತ್ಯಂತ ಸೂಕ್ತವೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ತೋರಿತು. ಫರ್ಮಿ ತಂಡದ ತರುಣ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಹರ್ಬರ್ಟ್ ಆಂಡರ್ಸನ್ ಅತ್ಯಂತ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವವುಳ್ಳವ. ವಿಳಂಬವೆಂದರೆ ಆತನಿಗಾಗುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಪೇರಿಕೆ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ ಲೋಹದ ಸಂಗ್ರಹಣ ಕಾರ್ಯ ನಡೆದಿತ್ತು. ಅದು ಪೂರ್ಣಗೊಳ್ಳುವವರೆಗೆ ಕಾಯಬೇಕಷ್ಟೆ. ಆಗ ಆಂಡರ್ಸನ್ ಗುಡ್ ಇಯರ್ ಟೈರು ಕಂಪನಿಗೆ ಹೋಗಿ, ಚೌಕಾಕಾರದ ರಬ್ಬರಿನ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಬಲೂನನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಡುವಂತೆ ಕೇಳಿಕೊಂಡ. ಅವರಿಗೆ ಆಶ್ಚರ್ಯವಾಯಿತು. ಇಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಅವರು ಗೋಲಾಕಾರದ ಬಲೂನನ್ನು ನೋಡಿದ್ದರೇ ವಿನಃ ಚೌಕಾಕಾರದ ಬಲೂನಿನ ಬಗ್ಗೆ ಕೇಳಿಯೂ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಆಂಡರ್ಸನ್ ಕೊಟ್ಟ ವಿವರಗಳ ಮೇರೆಗೆ ಗುಡ್ ಇಯರ್ ಕಂಪನಿಯವರು ಚೌಕಾಕೃತಿಯ ಬಲೂನನ್ನು ಸಿದ್ಧಪಡಿಸಿಕೊಟ್ಟರು.

ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳಲ್ಲಿ ರಂಧ್ರಗಳಿರುವುದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಗಮನಕ್ಕೆ ಬಂದಿತು. ರಂಧ್ರಗಳಲ್ಲಿಯ ಹವೆ, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ ಪೇರಿಕೆಯ ದಕ್ಷತೆ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತಿರುವುದು ಸಂಶೋಧನೆಯಿಂದ ಕಂಡುಬಂದಿತ್ತು. ಆಹಾರ ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚುಕಾಲ ಕೆಡದಂತೆ ಇರಿಸಲು ಅವನ್ನು ಡಬ್ಬದಲ್ಲಿ ಹಾಕಿ ಡಬ್ಬವನ್ನು ನಿರ್ವಾತಗೊಳಿಸಿ ಮೊಹರು ಮಾಡಿಬಿಡುತ್ತಾರಷ್ಟೆ! ಅದೇ ವಿಧಾನವನ್ನು ಪೇರಿಕೆಗೆ ಏಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಬಾರದು ? ಎಂಬ ಯೋಚನೆ

ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಬಂದಿತು. ಅದಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಅವರು ಚೌಕಾಕೃತಿಯ ಬಲೂನನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡದ್ದು. ಬಲೂನಿನಲ್ಲಿ ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಅದರಿಂದ ಹವೆಯನ್ನು ಹೊರಗೆ ಪಂಪ್‌ಮಾಡಿ ಹೊರಹಾಕುವುದು ಸುಲಭ. ಗುಡ್ ಇಯರ್ ಕಂಪನಿಯವರು ತಯಾರಿಸಿ ಕಳಿಸಿದ ಬಲೂನನ್ನು ಬಿಚ್ಚಿನೋಡಿದಾಗ ಅದು ನೆಲದಿಂದ ಛಾವಣಿಯಷ್ಟು ಎತ್ತರವಾಗಿತ್ತು. ಬಲೂನಿನೊಳಗೆ ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಅದನ್ನು ನಿರ್ವಾತಗೊಳಿಸಿ ಮೊಹರು ಮಾಡಿದರೂ, ದಕ್ಷತೆ ನಿರೀಕ್ಷಿತ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಬಹುದೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ತೋರಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ಬಲೂನಿನಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದರೂ ಅದನ್ನು ಮೊಹರು ಮಾಡುವ ವಿಚಾರವನ್ನು ಕೈಬಿಟ್ಟರು.

ಸರಕಾರ ಯುರೇನಿಯಂ ಯೋಜನೆಯಲ್ಲಿ ಆಸಕ್ತಿ ತಳೆದ ತರುವಾಯ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳು ಭರದಿಂದ ಪೂರೈಕೆ ಯಾಗತೊಡಗಿದವು. ಹೀಗೆ ಸಾಮಗ್ರಿಯ ಪೂರೈಕೆಯಾದಂತೆ ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣ ಕೂಡ ಅಷ್ಟೇ ತೀವ್ರ ಗತಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯಿತು. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ಉತ್ಸಾಹಿತರಾಗಿದ್ದರೆಂದರೆ, ಹಡಗಿನಲ್ಲಿ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳು ತುಂಬಿದ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಗಳು ಬಂದಾಗ, ಕೂಲಿಗಳು ರಜೆಯ ಮೇಲಿದ್ದರೆ, ತಾವೇ ಪೆಟ್ಟಿಗೆಗಳನ್ನು ಇಳಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿದ್ದರು. ಹೀಗೆ ಸಾಮಗ್ರಿ ಬಂದಂತೆ, ಒಂದು ಸಾಲು ಶುದ್ಧ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳು, ಅದರ ಮೇಲೆ ಯುರೇನಿಯಂ ತುಂಡುಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳ ಸಾಲು, ಹೀಗೆ ಒಂದಾದ ನಂತರ ಒಂದರಂತೆ ಪೇರಿಸುತ್ತಾ ಹೋದರು. ಅದರೊಳಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಆಕರವನ್ನೂ ಮತ್ತು ಅಲ್ಲಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳನ್ನೂ ಸೇರಿಸಿದ್ದರು. ಪೇರಿಕೆ ಗೋಲಾಕಾರವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ವ್ಯಾಸ 26 ಅಡಿಗಳಷ್ಟಿತ್ತು. ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಸ್ಕ್ವಾಷ್ ಕ್ರೀಡಾಂಗಣದ ಎತ್ತರವೇ ಇಪ್ಪತ್ತಾರು ಅಡಿಗಳಿದ್ದ ಕಾರಣ, ಅದರ ಮೇಲೆ ಕೊನೆಯ ಇಟ್ಟಿಗೆಯನ್ನಿಡಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದರ ಮೇಲ್ಭಾಗ ಚಪ್ಪಟೆಯಾಗಿತ್ತು.

ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿರಿಸಿದ ಆಕರವು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಿದ್ದವು. ಆದ್ದರಿಂದ ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ

ವಿದಳನ ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡು ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳು (Control Rods) ಗಳೆಂದು ಕರೆದರು. ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣ ಪೂರ್ಣಗೊಳ್ಳಲು ಒಂದು ವರ್ಷ ಕಾಲಾವಧಿಯೇ ಬೇಕಾಯಿತು. ಫರ್ಮಿಯ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸಿದ ಪ್ರಮುಖ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೆಂದರೆ ಝಿಲಾರ್ಡ್, ಹರ್ಬರ್ಟ್ ಆಂಡರ್ಸನ್, ಜಾರ್ಜ್ ವೇಲ್, ವಿಗ್ನರ್, ವಾಲ್ಟರ್ ಝಿನ್ ಮತ್ತು ಲಿಯೋನಾ ವುಡ್ ಎಂಬ ಮಹಿಳಾ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಅಲ್ಲದೆ ಎಷ್ಟೋ ಜನ ಬಡಗಿಗಳು, ಗಾರೆಯವರು, ಮತ್ತು ಕ್ರೀಡಾಂಗಣದಲ್ಲಿ ಓಡಾಡುವ ಶಾಲಾ ಮಕ್ಕಳೂ ಸಹ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳನ್ನು ಜೋಡಿಸುವ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ ಸಹಾಯ ಮಾಡಿದರು. ಆದರೆ ಮುಂದೆ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಲಿರುವ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗೆ ತಾವೀಗ ಬೀಜ ಹಾಕುತ್ತಿದ್ದೇವೆಂದು ಅವರಿಗೆ ತಾನೆ ಹೇಗೆ ಗೊತ್ತಾಗಬೇಕು ?

ಅಂದು 1942 ಡಿಸೆಂಬರ್ 2ನೇ ತಾರೀಖು. ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವುದೇ ಹೇಗೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುವ ದಿನ. ಹಿಂದಿನ ರಾತ್ರಿ ಬಹು ಹೊತ್ತಿನವರೆಗೆ ಕೆಲಸ ಮಾಡಿ ಆಂಡರ್ಸನ್ ಮತ್ತು ಝಿನ್ ಅದಕ್ಕೆ ಅಂತಿಮ ರೂಪು ಕೊಟ್ಟಿದ್ದರು. ಪೇರಿಕೆಯ ಮೇಲ್ಭಾಗದ ಅಟ್ಟಣೆಯ ಮೇಲೆ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ದ್ರಾವಣದ ಬಕೀಟುಗಳನ್ನು ಹಿಡಿದುಕೊಂಡು ಮೂರು ಜನ ನಿಂತಿದ್ದರು. ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿಯ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ನಿಯಂತ್ರಣ ಮೀರಿ ಹೋಗುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ ಉಂಟಾದರೆ, ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ದ್ರಾವಣವನ್ನು ಸುರಿದು ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿಷ್ಕ್ರಿಯಗೊಳಿಸಲು ಅವರು ಸದಾ ಸನ್ನದ್ಧ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದರು. ಇನ್ನೊಂದು ಅಟ್ಟಣಿಗೆಯ ಮೇಲೆ ಫರ್ಮಿ ನಿಂತಿದ್ದ. ಒಂದನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಪೇರಿಕೆಯೊಳಗಿನ ಎಲ್ಲ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳನ್ನು ಹೊರ ತೆಗೆಯಲಾಗಿತ್ತು. ಒಂದು ಸರಳು ಮಾತ್ರ ಪೇರಿಕೆಯೊಳಗಿದ್ದಿತು. ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಎಣಿಕೆ ಮಾಡಲು ಗೈಗರ್ ಗಣಕ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿಕಿರಣದ ತೀವ್ರತೆಯನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಗ್ರಾಫ್ ಕಾಗದದ ಸುರುಳಿ ಮತ್ತು ಪೆನ್ನು ಮುಂತಾದ ಸಲಕರಣೆಗಳನ್ನು ಪೇರಿಕೆಗೆ ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿತ್ತು.

''ಎಲ್ಲವೂ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದಂತೆ ನಡೆದರೆ, ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳನ್ನು ಪೇರಿಕೆಯಿಂದ ಹದಿಮೂರು ಅಡಿಗಳಷ್ಟು ಹೊರಗೆಳೆದಾಗ, ಗಣಕಗಳು ವೇಗದಿಂದ ಮಿಡಿಯುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ಪೆನ್ನು ಗ್ರಾಫ್ ಕಾಗದದ ಮೇಲೆ ಏರುಮುಖವಾಗಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಬಿಂದುವಿನವರೆಗೆ ಚಲಿಸಿ ಅನಂತರ ಕ್ಷಿತಿಜ ಸಮಾಂತರವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತದೆ'' ಎಂದು ಫರ್ಮಿ ಘೋಷಿಸಿದ್ದ. ಮತ್ತು ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳನ್ನು ಹೊರಗೆಳೆಯಲು ಜಾರ್ಜ್ ವೇಲ್‌ನಿಗೆ ಆದೇಶಿಸಿದ. ವೇಲ್ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳನ್ನು 13 ಅಡಿಗಳಷ್ಟು ಹೊರಗೆಳೆದ ಕೂಡಲೇ ಗಣಕಗಳು ವೇಗದಿಂದ ಮಿಡಿಯಲಾರಂಭಿಸಿದವು. ಎಲ್ಲರ ದೃಷ್ಟಿಯೂ ಗ್ರಾಫ್ ಪೆನ್ನಿನೆಡೆಗೆ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿತ್ತು. ಫರ್ಮಿಯ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದಂತೆ ಪೆನ್ನು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಬಿಂದುವಿನವರೆಗೆ ಏರುಮುಖವಾಗಿ ಚಲಿಸಿ ಅನಂತರ ಕ್ಷಿತಿಜ ಸಮಾಂತರ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಯಿತು. ಫರ್ಮಿ ಆತ್ಮವಿಶ್ವಾಸದಿಂದ ಬೀಗಿದ. ಪ್ರತಿ ಬಾರಿ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳನ್ನು ಹೊರಗೆಳೆದಾಗಲೂ ಇದೇ ಫಲಿತಾಂಶದ ಪುನರಾವರ್ತನೆಯಾಯಿತು.

ನಗರದ ಮಧ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಇಂತಹ ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಗೊಳ್ಳುವುದು ಎಷ್ಟು ಗಂಡಾಂತರಕಾರಿ ಎಂಬುದರ ಅರಿವು ಫರ್ಮಿಗೆ ಇದ್ದಿತು. ತಾತ್ವಿಕ ಲೆಕ್ಕಚಾರಗಳ ಮೇರೆಗೆ ಪೇರಿಕೆ ಆಸ್ಫೋಟಿಸುವಂತಿಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಬೆಳೆದರೂ, ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳನ್ನು ಪೇರಿಕೆಯೊಳಗೆ ಮರಳಿ ಸೇರಿಸಿ, ಅದನ್ನು ತಡೆಯುವ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿತ್ತು.

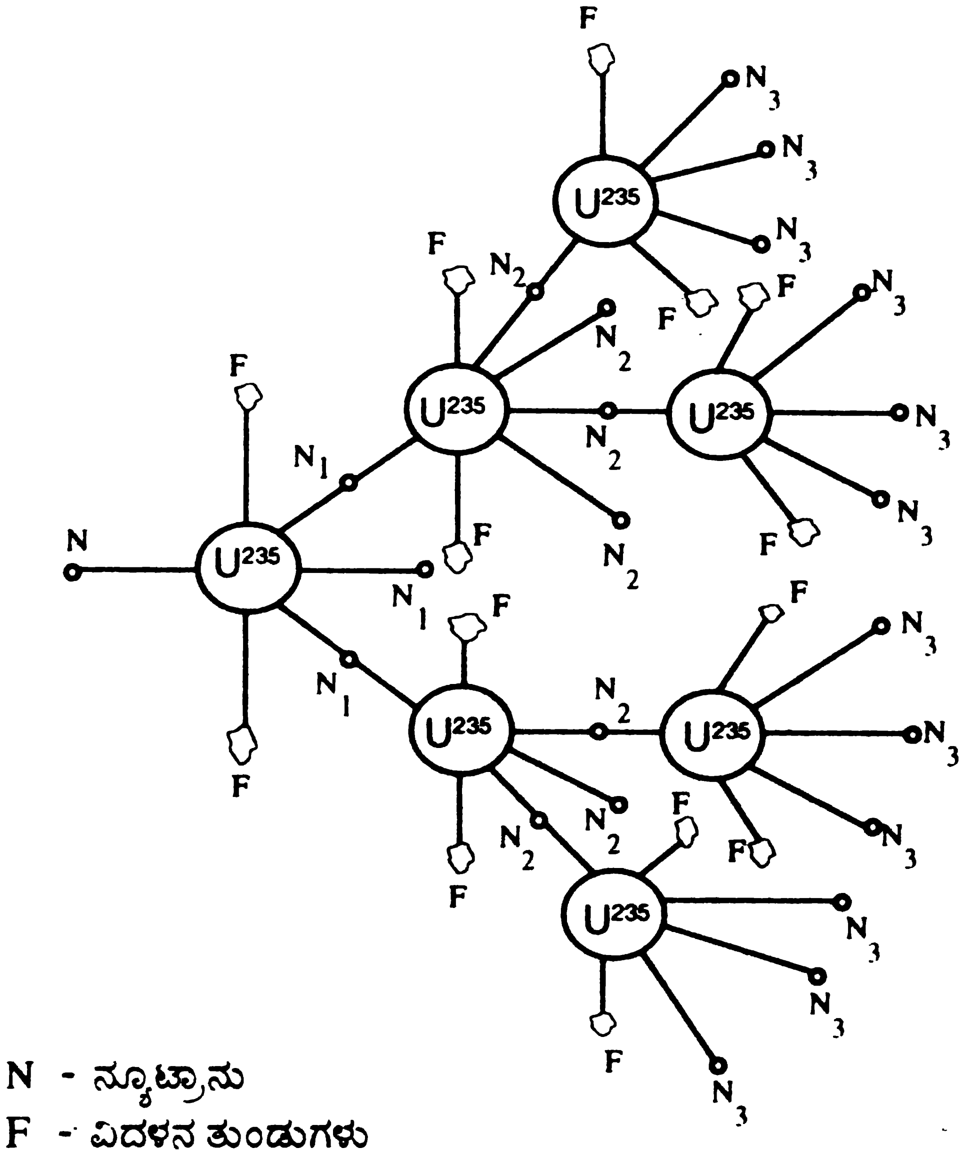
ಮಧ್ಯಾಹ್ನ ಎಲ್ಲರೂ ಊಟಕ್ಕೆ ತೆರಳಿದರು. ಬಂದ ನಂತರ ಮತ್ತೆ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದರು. ಈಗ ಫರ್ಮಿ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳನ್ನು ಮತ್ತೊಂದು ಅಡಿ ಹೊರಗೆಳೆಯುವಂತೆ, ವೇಲ್‌ಗೆ ಹೇಳಿದ. ಮತ್ತು ಈಗ ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಗುತ್ತದೆಂದೂ ಘೋಷಿಸಿದ. ನಿಜ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಗಿತ್ತು. ಪೆನ್ನು ಏರುಮುಖವಾಗಿಯೇ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದು ಅದು ನಿಲ್ಲುವ ಅಥವಾ ಕ್ಷಿತಿಜ ಸಮಾಂತರವಾಗಿ ಚಲಿಸಬಹುದಾದ ಸೂಚನೆಯನ್ನೇ ತೋರಿಸಲಿಲ್ಲ. ಅನಂತರ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳನ್ನು ಮತ್ತೆ ಪೇರಿಕೆಯ ಒಳಗೆ ತೂರಿಸಿ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿಲ್ಲಿಸಿದರು.

ಹೀಗೆ ಫರ್ಮಿ ಸ್ವಯಂ ಘೋಷಿತ ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಿ, ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುವಲ್ಲಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿದ್ದ.

ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸೂತ್ರ

ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವಾಗ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಫರ್ಮಿ, ತಾತ್ವಿಕ ಚಿಂತನೆ ನಡೆಸಿದರೂ, ಅದಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಖಚಿತ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸಿರಲಿಲ್ಲ. ಅಮೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನಾ ನಿರತ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತೀರ ಆತುರದಲ್ಲಿದ್ದರು. ತಮಗಿಂತಲೂ ಮೊದಲು ಜರ್ಮನಿಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅಣ್ವಸ್ತ್ರ ತಯಾರಿಸಿಬಿಟ್ಟರೇನು ಗತಿ ಎಂಬ ಭಯ ಅವರನ್ನು ಕಾಡುತ್ತಿತ್ತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವರು ತಮ್ಮ ಸಂಶೋಧನಾ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ವ್ಯವಸ್ಥಿತವಾಗಿ ಬರೆದಿಡುವ ಗೋಜಿಗೆ ಹೋಗಲಿಲ್ಲ. ಅವರ ಗಮನವೆಲ್ಲ ಎಷ್ಟು ಸಾಧ್ಯವೋ ಅಷ್ಟು ಬೇಗ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ತಯಾರಿಸಬೇಕೆಂಬುದರ ಕಡೆಗೆ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ದ್ವಿತೀಯ ಜಾಗತಿಕ ಯುದ್ಧ ಮುಗಿಯುವವರೆಗೆ, ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ನಡೆದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ರಹಸ್ಯವಾಗಿಡಲಾಗಿತ್ತು. ಅವನ್ನು ನಿಯತ ಕಾಲಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟಿಸುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ. ಅನಂತರ ಕೂಡ ಸೀಮಿತ ಮಾಹಿತಿಯನ್ನೇ ಪ್ರಕಟಿಸಲಾಯಿತು.

ಒಂದು ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಯಿತೆನ್ನೋಣ. ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಒಂದೇ ಗತಿಯಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಯುವ ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚಾಗುವ ಅಥವಾ ಕಡಿಮೆಯಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಅಂಶವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಪರಿಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ ಈ ಅಂಶವನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕ (effective multiplication factor) ವೆಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಮತ್ತು ಅದನ್ನು k_e ಎಂಬ ಸಂಕೇತದಿಂದ ಸೂಚಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 6. 1 ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ

ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ, ಮತ್ತು ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿ ಆ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿಂದ ನಡೆಯುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಅವಶೋಷಣೆ ಹಾಗೂ

ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸೋರಿಕೆಗಳ ಮೊತ್ತ, ಇವುಗಳ ಅನುಪಾತವೇ ಪರಿಣಾಮಕಾರೀ ಗುಣಿತಾಂಕ ಅಥವಾ

ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕ

$$k_e = \frac{\text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರ}}{\text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಅವಶೋಷಣೆಯ ದರ + ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸೋರಿಕೆಯ ದರ}}$$

P - ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರ

A - ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಅವಶೋಷಣೆಯ ದರ

L - ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸೋರಿಕೆಯ ದರ

ಇದ್ದರೆ,

$$\boxed{k_e = \frac{P}{A+L}}$$

ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ :

$k_e = 1$, ಇದ್ದರೆ, ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆ ಒಂದೇ ಗತಿಯಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಯುತ್ತದೆ. ಪೇರಿಕೆಯ ಇಂತಹ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಅವಧಿಕ (critical) ಸ್ಥಿತಿ ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ.

$k_e<1$ ಇದ್ದರೆ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಕುಂಠಿತಗೊಂಡು ನಿಂತು ಹೋಗುತ್ತದೆ.

$k_e >1$ ಇದ್ದರೆ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಬೆಳೆಯುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ.

ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಅನಿಯಂತ್ರಿತವಾಗಿ ಬೆಳೆಯಗೊಟ್ಟರೆ, ಅದು ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಲ್ಲಿ ಕೊನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಅದೇ '**ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು**'. ಒಂದು ವೇಳೆ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸಿ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿ ಮಾತ್ರ

ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗಲು ಅನುವು ಮಾಡಿಕೊಟ್ಟರೆ, ಅದು ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಯ ಪಾತ್ರ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಮುಖವಾದದ್ದು.

7. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು

ಅಮೇರಿಕೆಯ ಸರಕಾರ 1942ರ ಬೇಸಿಗೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಯುರೇನಿಯಂ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಸೇನಾ ವಿಭಾಗಕ್ಕೆ ಒಪ್ಪಿಸಿತು. ಮತ್ತು ಈ ಯೋಜನೆಗೆ ''ಮ್ಯಾನ್‌ಹಟನ್ ಡಿಸ್ಟ್ರಿಕ್ಟ್'' (Manhattan District) ಎಂದು ಹೆಸರಿಸಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಜನರಲ್ ಲೆಸ್ಲಿ ಗ್ರೂವ್ಸ್ ಅವರನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಕನನ್ನಾಗಿ ನೇಮಕ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಪ್ರತಿಭಾವಂತ ತರುಣ ವಿಜ್ಞಾನಿ ರಾಬರ್ಟ್ ಓಪನ್ ಹೀಮರ್ ಯೋಜನೆಯ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ನಿರ್ದೇಶಕನಾಗಿ ನೇಮಕಗೊಂಡ. ಹಾಗೆ ನೋಡಿದರೆ ''ಮ್ಯಾನ್ ಹಟನ್ ಡಿಸ್ಟ್ರಿಕ್ಟ್'' ಎಂಬ ಶಬ್ದಕ್ಕೆ ವಿಶಿಷ್ಟವಾದ ಅರ್ಥವೇನೂ ಇಲ್ಲ. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ತಯಾರಿಕೆಯ ಯೋಜನೆಗೆ ಯಾವುದಾದರೊಂದು ಗುಪ್ತ ಹೆಸರನ್ನಿಡಬೇಕಾಗಿತ್ತು. ಹಾಗೆ ಇರಿಸಿದ್ದರಷ್ಟೆ. ಮತ್ತು ಈ ಯೋಜನೆಯನ್ನು ಕಾರ್ಯಗತ ಗೊಳಿಸುವ ಜವಾಬ್ದಾರಿ ಜನರಲ್ ಗ್ರೂವ್ಸ್ ಮತ್ತು ಓಪನ್ ಹೀಮರ್ ಅವರುಗಳ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದಿತು.

ಮೂರು ರಹಸ್ಯ ನಗರಗಳು

ಜನರಲ್ ಲೆಸ್ಲಿಗ್ರೂವ್ಸ್ ಅಮೇರಿಕದ ಸೇನೆಯಲ್ಲಿ ಎಂಜಿನಿಯರ ನಾಗಿದ್ದ. ಅಲ್ಲದೆ ಅತ್ಯಂತ ದಿಟ್ಟ ಅಧಿಕಾರಿಯಾಗಿದ್ದ. ಮ್ಯಾನ್ ಹಟನ್ ಡಿಸ್ಟ್ರಿಕ್ಟ್ ಯೋಜನೆಯ ನಿರ್ದೇಶಕನಾಗಿ ಅಧಿಕಾರ ವಹಿಸಿಕೊಂಡೊಡನೆ, ಕಾರ್ಯ ಪ್ರವೃತ್ತನಾದ. ಓಪನ್ ಹೀಮರ್‌ನೊಡನೆ ಸಮಾಲೋಚಿಸಿ ಪರಮಾಣು ಅಸ್ತ್ರದ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕಾಗಿ ಮೂರು ಹೊಸ ನಗರಗಳನ್ನೇ ಕಟ್ಟುವ ತೀರ್ಮಾನ ಮಾಡಿದ. ಅಮೇರಿಕಾ ಸಾಕಷ್ಟು ವಿಶಾಲವಾದ ದೇಶ. ಅಲ್ಲಿ ಜನಸಂಖ್ಯೆ ವಿರಳವಾಗಿರುವ ಪ್ರದೇಶಗಳಿಗೆ ಕೊರತೆಯಿಲ್ಲ. ಅಂತಹ ಪ್ರದೇಶಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಿ ಸಾಕಷ್ಟು ವಿಸ್ತೀರ್ಣದ ಮೂರು ಖಾಲಿ ಜಾಗೆಗಳನ್ನು ಸರಕಾರಕ್ಕಾಗಿ ಖರೀದಿಸಿದರು. ಮೂರೂ ಜಾಗೆಗಳು ಮೂರು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ರಾಜ್ಯಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಇದ್ದವು. ಅಲ್ಲದೆ ಅವು ಪರಸ್ಪರ ಸಾವಿರಾರು ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ಅಂತರದಲ್ಲಿದ್ದವು. ಆದರೆ ಅವೆಲ್ಲ ನದೀ ತೀರದಲ್ಲಿದ್ದುದರಿಂದ ನೀರಿನ

ಸೌಲಭ್ಯವಿದ್ದಿತು. ಈ ಜಾಗೆಗಳಲ್ಲಿ ವಾಸಕ್ಕೆಂದು ನೂರಾರು ಮನೆಗಳು, ಶಾಲೆ, ಚರ್ಚುಗಳನ್ನು ಕೆಲದಿನಗಳಲ್ಲಿಯೇ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ಹುಲ್ಲುಗಾವಲಿನಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಈ ನಗರಗಳ ಗುರುತು ತಿಳಿಯಬಾರದೆಂದು, ಮನೆಗಳ ಮಾಳಿಗೆಗಳಿಗೆ ಹಸಿರು ಬಣ್ಣ ಬಳಿಯಲಾಯಿತು. ಪರಮಾಣು ಅಸ್ತ್ರ ನಿರ್ಮಾಣಗೊಂಡು, ಅಮೇರಿಕ ಯುದ್ಧದಲ್ಲಿ ಅದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಜಯಶಾಲಿಯಾಗುವವರೆಗೆ ಈ ನಗರಗಳು ಹೊರಜಗತ್ತಿಗೆ ಅಜ್ಞಾತವಾಗಿಯೇ ಉಳಿದವು. ಯಾವುದೇ ನಕಾಶೆಯಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ತೋರಿಸಲಿಲ್ಲ. ಅಲ್ಲಿ ವಾಸಿಸುವವರಿಗೆ ಮತದಾನ ಮಾಡುವ ಅವಕಾಶವಿರಲಿಲ್ಲ. ಈ ನಗರಗಳು ಎಷ್ಟು ರಹಸ್ಯವಾಗಿ ಉಳಿದುವೆಂದರೆ, ಅಲ್ಲಿ ವಾಸಿಸುವ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತಮ್ಮ ನಿಜವಾದ ಹೆಸರನ್ನು ಸಹ ಬಹಿರಂಗಪಡಿಸುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ. ಓಕ್‌ರಿಜ್, ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊ ಇವೇ ಆ ರಹಸ್ಯ ನಗರಗಳು.

ಸಾಮಗ್ರಿಯ ಸಮಸ್ಯೆ

ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಆಗಲೇ ತಮ್ಮ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಬಾಂಬು ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಬೇಕಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಿದ್ದರು. ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಆ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿರಬೇಕು. ಅಂತಹ ವಸ್ತುವನ್ನು ವಿದಳನ ಶೀಲ (Fissionable) ವಸ್ತುವೆಂದೂ ಕರೆಯಬಹುದು. ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ವಿದಳನಶೀಲ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು. ಯುರೇನಿಯಂ-235, ನೈಸರ್ಗಿಕವಾಗಿ ಲಭ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239, ಮಾನವ ನಿರ್ಮಿತ ಮೂಲವಸ್ತು. ನೈಸರ್ಗಿಕವಾಗಿ ಲಭ್ಯವಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ-238, ಹೀಗೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಎರಡು ವಿಧದ ಪರಮಾಣುಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಒಂದೇ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ, ಮತ್ತು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೆಂದು (Isotope) ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಒಂದು ಸಂಯುಕ್ತದಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವುದು ಸುಲಭ. ಆದರೆ ಒಂದೇ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಎರಡು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸುವುದು ಕಷ್ಟ ಉದಾಹರಣೆಗೆ ನೀರು ಅಥವಾ ಉಪ್ಪನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸಿರಿ. ನೀರಿನಲ್ಲಿರುವ

ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಮತ್ತು ಆಕ್ಸಿಜನ್‌ಗಳನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನದಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬಹುದು. ಅದೇರೀತಿ ಉಪ್ಪಿನಲ್ಲಿರುವ ಸೋಡಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ಲೋರಿನ್ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಹ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಅವುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಧರ್ಮಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಒಂದು ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುವ ಯುರೇನಿಯಂನಿಂದ ಯುರೇನಿಯಂ-235ನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಹೊಸ ವಿಧಾನಗಳನ್ನೇ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾಯಿತು. ಅಲ್ಲದೆ ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ-235ರ ಪ್ರಮಾಣ ಸಾವಿರದಲ್ಲಿ ಕೇವಲ 7 ಭಾಗ ಮಾತ್ರ.

ಬಾಂಬು ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಬೇಕಾದ ಇನ್ನೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239. ಇದು ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ಲಭ್ಯವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಬರ್ಕ್ಲಿಯಲ್ಲಿದ್ದ ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನಾ ನಿರತರಾಗಿದ್ದ, ಭೌತ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸುವಲ್ಲಿ ನಿರತರಾಗಿದ್ದರು. ಈ ತಂಡದಲ್ಲಿ, ಹಿಂದೆ ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಯ ಜತೆ ಕೆಲಸ ಮಾಡಿದ ಎಮಿಲಿಯೊ ಸೆಗ್ರೆ ಇದ್ದ. ಆತನಿಗೆ ಇದೇ ಬಗೆಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಕೈಗೊಂಡ ಅನುಭವವಿತ್ತು.

ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತೀವ್ರಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಅಂದರೆ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಶಾಲಿಯಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದರೆ, ಅವು ವಿದಳನಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಮಂದಗಾಮಿ ಅಥವಾ ಕಡಿಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ವಿದಳನಗೊಳ್ಳುವುದಿಲ್ಲ. ಅದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಅವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಂಡು ಯುರೇನಿಯಂ-239 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ರೂಪುಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಯುರೇನಿಯಂ-239 ಅಸ್ಥಿರವಾದ್ದರಿಂದ ಅದು ಬೀಟಾ ಕಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ-239ರಲ್ಲಿ

ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 93. ಇದು ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುವುದಿಲ್ಲ. ಅಲ್ಲದೆ ಯುರೇನಿಯಂ ಆಚೆಯ ಮೊದಲನೆಯ ಮೂಲವಸ್ತು. ಇದು ಕೂಡ ಅಸ್ಥಿರವೇ. ಆದ್ದರಿಂದ ನೆಪ್ಚೂನಿಯಂ-239 ಮತ್ತೆ ಬೀಟಾಕಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ, ಎರಡನೆಯ ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ರಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239ರ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 94. ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ಸಹ ಅಸ್ಥಿರವೇ. ಆದರೆ ಅದರ ಅರ್ಧಾಯು ತೀರ ಹೆಚ್ಚು. ಸುಮಾರು 24,400 ವರ್ಷಗಳು. ಆದ್ದರಿಂದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಅದನ್ನು ಸ್ಥಿರವೆಂದೇ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇಡೀ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನಂತೆ ವಿವರಿಸಬಹುದು.

$${}_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{239} + h\nu$$

($h\nu$ = ಶಕ್ತಿ)

${}_{92}U^{239} \rightarrow {}_{92}Np^{239} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು : 23.5 ನಿಮಿಷ

${}_{93}Np^{239} \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು : 2.33 ದಿನಗಳು

${}_{94}Pu^{239} \rightarrow {}_{92}U^{235} + {}_{2}He^{4}$ ಅರ್ಧಾಯು : 24400 ವರ್ಷಗಳು

ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಆತನ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ಒಂದು ದಶಕದಷ್ಟು ಹಿಂದೆಯೇ ವಿದಳನೆ ಮತ್ತು ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ತಯಾರಿಕೆ ಎರಡೂ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದ್ದರು. ಅವರು ರೋಮ್‌ನಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗ ಕೈಕೊಂಡಾಗ ಯುರೇನಿಯಂನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದ್ದರಷ್ಟೆ. ಈಗಾಗಲೇ ಚರ್ಚಿಸಿದಂತೆ ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ-238 ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿರುತ್ತವೆ.

ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಅವು ವಿದಳನಗೊಂಡಿದ್ದರೆ, ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡು 93 ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಹೊಸ ಮೂಲವಸ್ತುವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಂಡಿದ್ದವು. ಆದರೆ ಫರ್ಮಿ ತಂಡಕ್ಕೆ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನು ಅರ್ಥೈಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ.

ಬರ್ಕ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ಲೋಹವನ್ನು ತಯಾರಿಸುವಲ್ಲಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿದ್ದರು. ಫರ್ಮಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ್ದಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಬಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಆಕರಗಳು ಅವರಿಗೆ ಲಭ್ಯವಿದ್ದವು. ಆದರೆ ಬಾಂಬು ತಯಾರಿಕೆಗೆ ಹಲವು ಕಿಲೊಗ್ರಾಂ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಬೇಕು. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಒಂದು ವರ್ಷಕಾಲ ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದ ಬಳಿಕವೂ ಉಪ್ಪಿನ ಒಂದು ಹರಳಿನಷ್ಟು ಮಾತ್ರ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ತಯಾರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿತ್ತು. ಬರ್ಕ್ಲಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಕಾರ್ಯ ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದಾಗ, ಫರ್ಮಿಯ ತಂಡವಿನ್ನೂ ಕೊಲಂಬಿಯಾದಿಂದ ಷಿಕಾಗೋಕ್ಕೆ ಸ್ಥಳಾಂತರ ಗೊಂಡಿರಲಿಲ್ಲ. ಫರ್ಮಿಯ ತಂಡ ಷಿಕಾಗೋದಲ್ಲಿ ನಿಯಂತ್ರಿತ ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದ ನಂತರವೂ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ನಿರ್ಮಿಸಲು ಅವರು ಕ್ರಮಿಸಬೇಕಾದ ದೂರ ಸಾಕಷ್ಟಿತ್ತು.

ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಇತ್ತ ಪೇರಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣದಲ್ಲಿ ತೊಡಗಿದ್ದಾಗ, ಅತ್ತ ಜನರಲ್ ಗ್ರೂವ್ಸ್ ಮೂರು ನಗರಗಳನ್ನು ರಹಸ್ಯ ಜಾಗೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಟ್ಟಿಪೂರೈಸಿದ್ದ. ಒಂದು ನಗರದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸುವ ಕಾರ್ಯ, ಇನ್ನೊಂದರಲ್ಲಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪಾದನೆಯ ಕಾರ್ಯ, ಮತ್ತೊಂದರಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಜೋಡಣೆಯ ಕಾರ್ಯ ನಡೆಯುವಂತೆ ಯೋಜಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಇವೆಲ್ಲ ಅತ್ಯಂತ ರಹಸ್ಯವಾಗಿ ನಡೆಯಬೇಕಿತ್ತು. ಸುಮಾರು ಮೂರು ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಇಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡಿದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ತಂತ್ರಜ್ಞರಿಗೆ, ಹೊರ ಜಗತ್ತಿನ ಸಂಪರ್ಕವಿರಲಿಲ್ಲ. ಸಾವಿರಾರು ಜನ ಒಂದೇ ಸ್ಥಳದಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಅವರು ತಮ್ಮ ಕೆಲಸದ ಬಗ್ಗೆ ಪರಸ್ಪರ ಚರ್ಚಿಸುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ. ''ನೀವು ಮಾಡುವ ಕೆಲಸದ ಬಗ್ಗೆ

ಚರ್ಚಿಸಬೇಡಿರಿ'',''ಒಂದು ಮಾತನಾಡುವ ಮೊದಲು ಎರಡು ಸಲ ಯೋಚಿಸಿರಿ'' ಹೀಗೆ ಬರೆದ ಫಲಕಗಳನ್ನು, ಪ್ರಯೋಗಾಲಯ, ಭೋಜನಗೃಹ ಮುಂತಾದ ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿ ತೂಗು ಹಾಕಿರುತ್ತಿದ್ದರು. ಸಾವಿರದಷ್ಟು ಜನ ಊಟಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಹೊರಗಿನಿಂದ ಯಾರಾದರೂ ಭೋಜನ ಗೃಹದೆಡೆಗೆ ದೃಷ್ಟಿ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಒಳಗೆ ಜನರೇ ಇಲ್ಲವೆನ್ನುವಷ್ಟು, ಅದು ನಿಶಃಬ್ದವಾಗಿ ತೋರುತ್ತಿತ್ತು. ಹೀಗೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ನಿರ್ಮಾಣದ ವರ್ಣನೆಯೇ ಒಂದು ರೋಚಕ ಕಥೆಯಾದೀತು.

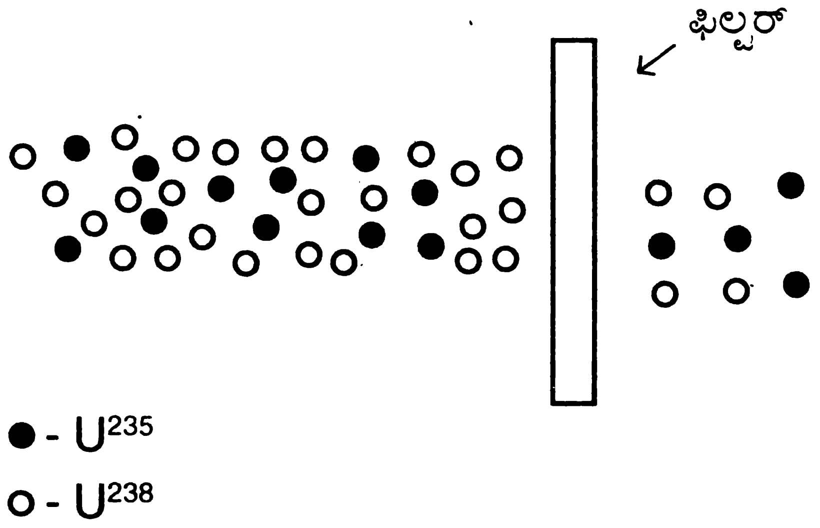
ಓಕ್‌ರಿಜ್‌ನಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ - 235

ಮಧ್ಯ ಅಮೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಟೆನ್ನಿಸ್ಸಿ ನದಿ ಹರಿಯುತ್ತದೆ. ನದಿ ತೀರದ ವಿಶಾಲವಾದ ಜಾಗೆಯಲ್ಲಿ ರಾತ್ರೋರಾತ್ರಿ ಓಕ್‌ರಿಜ್ ನಗರ ತಲೆಯೆತ್ತಿ ನಿಂತಿತು. ನೂರಾರು ಕುಟುಂಬಗಳಿಗೆ ಮನೆಗಳು, ಮಕ್ಕಳಿಗೆ ಶಾಲೆ, ಮನೋರಂಜನೆಗೆ ಸಿನಿಮಾ ಥಿಯೇಟರುಗಳು, ಇವೆಲ್ಲ ನಿರ್ಮಾಣವಾದದ್ದು ಕೆಲ ದಿನಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ. ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ವಿಂಗಡಿಸುವ ಕಾರ್ಯ ಓಕ್‌ರಿಜ್‌ನಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವಂತೆ ಯೋಜಿಸಲಾಗಿತ್ತು.

ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಎರಡು ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ವಿಂಗಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕಂಡುಕೊಂಡಿದ್ದರು. ಒಂದು ಅನಿಲ ವಿಸರಣ (Gaseous Diffusion) ವಿಧಾನ, ಇನ್ನೊಂದು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನುಪಯೋಗಿಸಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ವಿಧಾನ.

ಅನಿಲ ವಿಸರಣ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ಯುರೇನಿಯಂ ಲೋಹ ಫ್ಲೋರಿನ್‌ನೊಡನೆ ವರ್ತಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಅದನ್ನು ಅನಿಲರೂಪಕ್ಕೆ ತರಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಯುರೇನಿಯಂ ಅನಿಲದಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಧಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಯುರೇನಿಯಂ-235 ರಿಂದ ಕೂಡಿದ ಅನಿಲವು, ಯುರೇನಿಯಂ-238 ರಿಂದ ಕೂಡಿದ ಅನಿಲಕ್ಕಿಂತ ಹಗುರಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಅನಿಲ ಮಿಶ್ರಣವನ್ನು ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟ ಬಗೆಯ ಫಿಲ್ಟರಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿದಾಗ, ಹಗುರಾದ ಅನಿಲವು, ಭಾರವಾದ ಅನಿಲಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗವಾಗಿ ಫಿಲ್ಟರಿನ ಮೂಲಕ ಚಲಿಸುತ್ತದೆ. ವಿಸರಣವೆಂದು ಕರೆಯುವುದು ಇದೇ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು. ಒಂದು ಫಿಲ್ಟರಿನ

ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ಬಂದ ಅನಿಲದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಪ್ರಮಾಣ ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಅದನ್ನೇ ಇನ್ನೊಂದು ಫಿಲ್ಟರಿನ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ ಅದರ ಪ್ರಮಾಣ ಇನ್ನಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಒಂದೆರಡು ಫಿಲ್ಟರುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸುವುದರಿಂದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಫಲಿತಾಂಶ ದೊರೆಯಲಾರದು. ಅನಿಲವನ್ನು ಸಹಸ್ರಾರು ಫಿಲ್ಟರುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ ಮಾತ್ರ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ದೊರೆತೀತು. ಅನಂತರ ಅದನ್ನು ಲೋಹವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು.

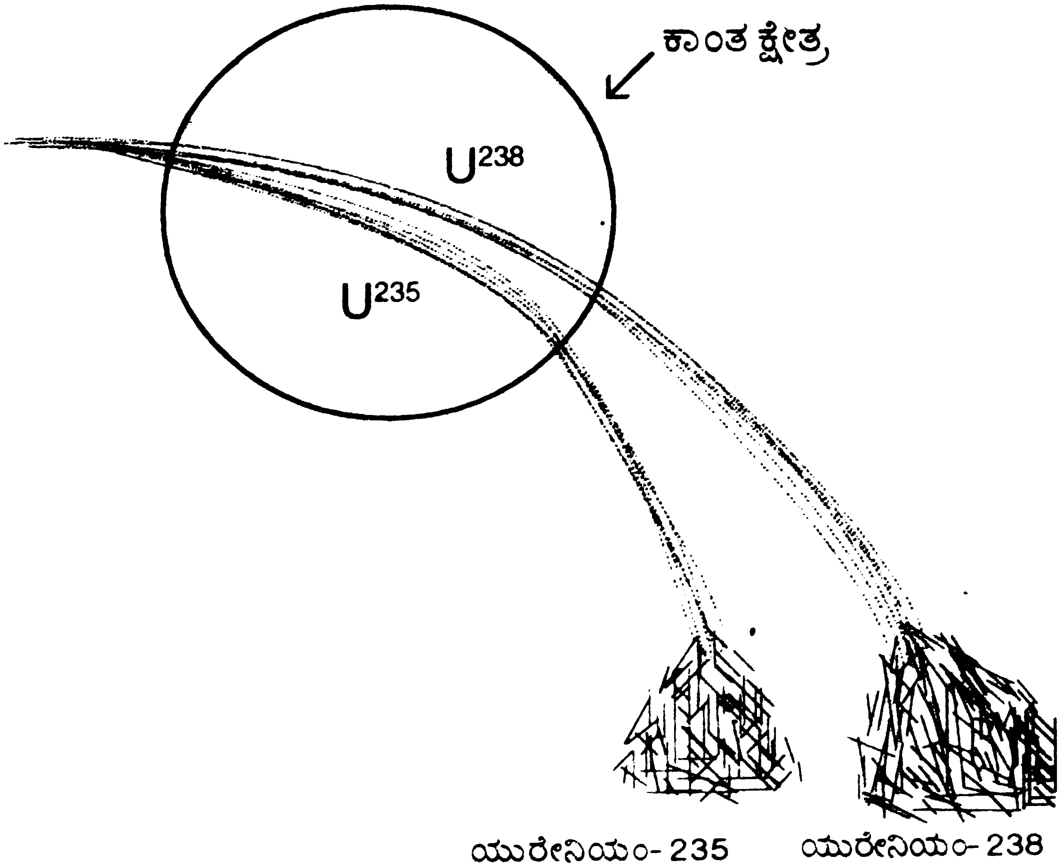


ಚಿತ್ರ 7. 1: ಅನಿಲ ವಿಸರಣ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ

ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಲೋಹವನ್ನು ಬೃಹತ್‌ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿಕೊಳ್ಳಲೋಸುಗ, ಓಕ್‌ರಿಜ್‌ನಲ್ಲಿ ''ಕ್ಲಿಂಟನ್ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್'' ಎಂಬ ಹೆಸರಿನಿಂದ ಎರಡು ಕಾರ್ಖಾನೆಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿದರು. ಒಂದು ಕಾರ್ಖಾನೆಯಲ್ಲಿ ಅನಿಲ ವಿಸರಣ ವಿಧಾನದಿಂದ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ನು ದೊರಕಿಸಿದರೆ, ಇನ್ನೊಂದರಲ್ಲಿ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಬಳಸಿ ದೊರಕಿಸಲಾಗುತ್ತಿತ್ತು.

ಅನಿಲ ವಿಸರಣ ವಿಧಾನವನ್ನಳವಡಿಸಿದ ಕಾರ್ಖಾನೆ ಆಗಿನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಯಾವುದೇ ಉದ್ದಿಮೆಗಳಿಗಾಗಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಕಾರ್ಖಾನೆಗಿಂತ ದೊಡ್ಡದಾಗಿತ್ತು. ಇಡೀ ನ್ಯೂಯಾರ್ಕ್ ನಗರ ಬಳಸುವಷ್ಟು ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯನ್ನು, ಇದೊಂದೇ

ಕಾರ್ಖಾನೆ ಕಬಳಿಸುತ್ತಿತ್ತು. ಇದರಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಅನಿಲವನ್ನು ಫಿಲ್ಟರುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಲು ಪಂಪುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಸುರುಳಿಯಾಕಾರದ ಕೊಳವೆಗಳಲ್ಲಿ ಅಲ್ಲಲ್ಲಿ ಫಿಲ್ಟರುಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಆರಂಭದಿಂದ ಅಂತ್ಯದವರೆಗೆ ಸಾವಿರಾರು ಕಿಲೋಮೀಟರುಗಳಷ್ಟು ದೂರವನ್ನು ಅನಿಲವು ಕೊಳವೆಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಅನಿಲವನ್ನು ಮುಂದೂಡಲು ಬಳಸಿದ ಪಂಪುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಸಾವಿರಕ್ಕೆ ಮೇಲಿತ್ತು. ಈ ವಿಧಾನದಿಂದ ತಕ್ಕ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಲೋಹವನ್ನು ದೊರಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.



ಚಿತ್ರ : 7.2

ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಸಹ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲಾಯಿತು. ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವು ವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ಕಣಗಳನ್ನು ದಿಕ್ಪಲ್ಲಟಗೊಳಿಸುತ್ತದೆ; ಅಥವಾ ಅವುಗಳ ಪಥವನ್ನು ಬಾಗಿಸುತ್ತದೆ. ಬಾಗಿದ ಪ್ರಮಾಣವು ಆಯಾ ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವಾಗ ಹಗುರಾದ ಕಣಗಳು ಭಾರವಾದ ಕಣಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಬಾಗುತ್ತವೆ. ಇದೇ ತತ್ವದ ಮೇಲೆ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ-238 ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದರು.

ಕ್ಲಿಂಟನ್ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್‌ನವರು ಇನ್ನೊಂದು ಕಾರ್ಖಾನೆಯಲ್ಲಿ ಆಗಿನ ಕಾಲಕ್ಕೆ ಲಭ್ಯವಿದ್ದ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನಿನ ಆಯಸ್ಕಾಂತಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಪ್ರಯತ್ನಿಸಿದರು. ಆದರೆ ಅದರಿಂದ ದೊರೆಯುವ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಲೋಹದ ಪ್ರಮಾಣ ತೀರ ಕಡಿಮೆಯಾಗಿತ್ತು. ಅಣ್ವಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ವನ್ನು ದೊರಕಿಸಬೇಕಾದರೆ ಬಹಳಷ್ಟು ಕಾಲ ತಗಲುತ್ತಿತ್ತು. ಆದರೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಅದೃಷ್ಟ ಚೆನ್ನಾಗಿತ್ತು.

ದ್ವಿತೀಯ ಜಾಗತಿಕ ಯುದ್ಧ ಆರಂಭವಾಗುವ ಮೊದಲೇ ಅರ್ನೆಸ್ಟ್ ಲಾರೆನ್ಸ್ ಅತ್ಯಂತ ದೊಡ್ಡ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವ ಯೋಜನೆ ಹಾಕಿಕೊಂಡಿದ್ದ ಮತ್ತು ಆ ದಿಸೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತನೂ ಆಗಿದ್ದ. ಆದರೆ ಯುದ್ಧದ ಕಾರಣ ಈ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ಕೆಲ ಕಾಲ ಸ್ಥಗಿತಗೊಳಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಅಷ್ಟರೊಳಗಾಗಿ ಆತ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಒಂದು ದೈತ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ್ದ. ಅದು ಎಷ್ಟು ದೊಡ್ಡದಾಗಿತ್ತೆಂದರೆ, ಅದರ ತೂಕ ಒಂದು ಸಾಮಾನ್ಯ ಹಡಗಿನ ತೂಕದಷ್ಟಿತ್ತು. ಕ್ಲಿಂಟನ್ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್‌ನವರಿಗೆ ಇದೊಂದು ವರದಾನವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿತು. ಅದನ್ನವರು ಓಕ್‌ರಿಜ್‌ಗೆ ತಂದರು.

ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತವೆಂದರೆ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಒಂದು ಉಕ್ಕಿನ ದಂಡಕ್ಕೆ ತಾಮ್ರದ ತಂತಿಯನ್ನು ಸುತ್ತಿ, ತಂತಿಯಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಹರಿಸುತ್ತಾರೆ. ಲಾರೆನ್ಸ್ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತವನ್ನೇನೋ ನಿರ್ಮಿಸಿದ್ದ. ಆದರೆ ಅದಕ್ಕೆ ತಂತಿಯನ್ನು ಸುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಆ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ಕ್ಲಿಂಟನ್ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್‌ನ

ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೇ ಮಾಡಬೇಕಾಯಿತು. ಆಗ ಯುದ್ಧದ ಕಾಲವಾದ್ದರಿಂದ ತಾಮ್ರದ ತೀವ್ರ ಕೊರತೆಯಿದ್ದಿತು. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಬೆಳ್ಳಿಯ ತಂತಿಯನ್ನುಪಯೋಗಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದರು. ಅದಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಬೆಳ್ಳಿಯನ್ನು ಸೇನಾಧಿಕಾರಿಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ, ಅಮೇರಿಕೆಯ ಖಜಾನೆಯಿಂದ ಪಡೆದರು. ಅವರು ತಂತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಳಸಿದ ಬೆಳ್ಳಿಯ ತೂಕವೆಷ್ಟು ಗೊತ್ತೆ? ಸುಮಾರು ಹದಿನೈದು ಸಾವಿರ ಟನ್ನುಗಳು!

ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪಾದನೆ

ಬಾಂಬಿನ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಇನ್ನೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ. ಇದು ಮಾನವ ನಿರ್ಮಿತ ಮೂಲವಸ್ತು; ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುವುದಿಲ್ಲ. ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಕಾರ್ಖಾನೆಯೊಂದನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಲು ತೀರ್ಮಾನಿಸಿ, ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಜನರಲ್ ಗ್ರೂವ್ಸ್ ವಾಷಿಂಗ್ಟನ್ ರಾಜ್ಯದಲ್ಲಿ, ಕೊಲಂಬಿಯಾ ನದಿ ತೀರದಲ್ಲಿ, ವಿಶಾಲವಾದ ಜಾಗೆಯನ್ನು ಆಯ್ಕೆಮಾಡಿಕೊಂಡ. ಅಲ್ಲಲ್ಲಿ ಚಿಕ್ಕ ಪುಟ್ಟ ಹಳ್ಳ, ದಿನ್ನೆಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಅದು ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಮರಳುಗಾಡು. ಅದೇ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 250 ಜನಸಂಖ್ಯೆಯಿರುವ ಎರಡು ಚಿಕ್ಕ ಗ್ರಾಮಗಳಿದ್ದವು. ಒಂದು ರಿಚ್‌ಲ್ಯಾಂಡ್, ಇನ್ನೊಂದು ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್. ರಿಚ್‌ಲ್ಯಾಂಡ್‌ನಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಖಾನೆಯನ್ನು ಕಟ್ಟುವ ಕಾರ್ಯವನ್ನಾರಂಭಿಸಿ, ಅದರ ಕೆಲಸಗಾರರಿಗೆಲ್ಲ ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್ ಬಳಿ ಒಂದು ಕ್ಯಾಂಪ್ ನಿರ್ಮಿಸಿ ವಸತಿಯ ಏರ್ಪಾಟು ಮಾಡಿದರು. ಕ್ಯಾಂಪ್ ಎಷ್ಟು ವೇಗದಿಂದ ಬೆಳೆಯಿತೆಂದರೆ, ಒಂದು ವರ್ಷದೊಳಗಾಗಿ ಅಲ್ಲಿಯ ಜನಸಂಖ್ಯೆ ಅರವತ್ತು ಸಾವಿರಕ್ಕೇರಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ರಿಚ್‌ಲ್ಯಾಂಡ್‌ನಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಖಾನೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುತ್ತಿದ್ದರೂ ಅದಕ್ಕೆ ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್ ಇಂಜಿನಿಯರಿಂಗ್ ವರ್ಕ್ಸ್ ಎಂದೇ ಹೆಸರಿಟ್ಟರು. ಕಾರ್ಖಾನೆಯ ಕೆಲಸ ಪೂರ್ತಿಯಾದೊಡನೆ, ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್ ವಸತಿಯ ಅಗತ್ಯ ಉಳಿಯಲಿಲ್ಲ. ಕೆಲದಿನಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಊರು ಖಾಲಿಯಾಗಿ ಹೋಯಿತು.

ಯುರೇನಿಯಂ-238ನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತದಷ್ಟೆ. ಆದರೆ ಈ ವಿಧಾನ

ಅತ್ಯಂತ ನಿಧಾನ ಮತ್ತು ದೊರೆಯುವ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹದ ಪ್ರಮಾಣ ಕೂಡ ಅತ್ಯಂತ ಕಡಿಮೆ. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ಷಿಕಾಗೋದಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದಂತಹ ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಿಂದ ಅಧಿಕ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ತೀವ್ರಗತಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ತೋರಿತು. ಆದರೆ ಫರ್ಮಿ ತಂಡವು ಷಿಕಾಗೋದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಪೇರಿಕೆ ಈ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ತೀರ ಚಿಕ್ಕದು. ಅಂತಹ ಪೇರಿಕೆಯಿಂದ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ದೊರಕಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಎಪ್ಪತ್ತು ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳು ಬೇಕು. ಅಲ್ಲದೆ ಷಿಕಾಗೋ ಪೇರಿಕೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ್ದು, ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಲೋಸುಗವೇ ವಿನಃ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪಾದನೆಗಾಗಿಯಲ್ಲ. ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್‌ನಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಪೇರಿಕೆಗಳು, ಷಿಕಾಗೋ ಪೇರಿಕೆಗಿಂತ ಎಷ್ಟೋ ಪಟ್ಟು ದೊಡ್ಡವು. ಅವುಗಳ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಕೂಡ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವು ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಶಾಖವನ್ನು ಮತ್ತು ಪ್ರಬಲವಾದ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಹೊರಸೂಸುತ್ತಿದ್ದವು. ವಿಕಿರಣವು ಜೀವಿಗಳಿಗೆ ಅಪಾಯಕಾರಿ. ಆಧ್ದರಿಂದ ಇಡೀ ಫೇರಿಕೆಗೆ ಕಲ್ಲಿನ ಅಥವಾ ಉಕ್ಕಿನ ಗೋಡೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವುದು ಅಗತ್ಯವಾಯಿತು. ಅದು ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ತಡೆಯುತ್ತದೆ. ಈ ಬೃಹತ್ ಫೇರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಶಾಖವನ್ನು ತಡೆಯಲು ಅದನ್ನು ತಂಪಿನಲ್ಲಿಡಬೇಕು. ಅದಕ್ಕಾಗಿ ನೀರು ಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ ಅವರು ಮೂರೂ ಬೃಹತ್ ಪೇರಿಕೆಗಳನ್ನು ಕೊಲಂಬಿಯಾ ನದೀ ತೀರದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಿದರು ಮತ್ತು ಕೊಳವೆಗಳಿಂದ ಪೇರಿಕೆಗಳಿಗೆ ನದಿ ನೀರನ್ನು ಪಂಪುಮಾಡಿ, ಅದು ಶಾಖವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡ ಬಳಿಕ ಮತ್ತೆ ನದಿಗೆ ಬಿಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ನೀರು ಪರಿಚಲಿಸಿದ ಬಳಿಕ ಅದನ್ನು ನೇರವಾಗಿ ನದಿಗೆ ಬಿಡುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪರಿಚಲಿಸಿದ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ ಅಂಶವಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ದೊಡ್ಡ ದೊಡ್ಡ ಕೊಳಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದು ಬಂದ ನೀರನ್ನು ಕೆಲ ದಿನ ತಡೆದು ನಿಲ್ಲಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಅದರಲ್ಲಿಯ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವದ ಅಂಶ ಕಡಿಮೆಯಾದೊಡನೆ ಮತ್ತೆ ನದಿಗೆ ಬಿಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಇದರಿಂದ

ಜಲಚರಗಳಿಗೆ ಅಪಾಯ ತಟ್ಟುವ ಸಂಭವ ಕಡಿಮೆಯಿರುತ್ತಿತ್ತು.

ಪೇರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆದು ಕೆಲವಷ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ-238 ಲೋಹವು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಂಡಿತ್ತಷ್ಟೆ! ಈಗ ಅದನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದು ಹೇಗೆ ? ಯುರೇನಿಯಂ ಮತ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಾದ್ದರಿಂದ ಅವನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಆದರೆ ಅದು ಹೇಳುವಷ್ಟು ಸುಲಭವಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಪೇರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವುದರೊಂದಿಗೆ, ಕೆಲ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ವಿದಳನೆ ಸಹ ಉಂಟಾಗಿರುತ್ತದೆ. ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಬಲ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವದ ವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಹಾಗಾಗಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ಪೇರಿಕೆಯ ಇತರ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವುದು ಕಷ್ಟವೇ. ವಿಕಿರಣ ಪಟು ವಸ್ತುಗಳ ನಿರ್ವಹಣೆಯೇ ಮನುಷ್ಯನಿಗೆ ಅಪಾಯಕಾರಿ. ಆದ್ದರಿಂದ ಯಂತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಯುರೇನಿಯಂ ಮತ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹಗಳ ಮಿಶ್ರಣವನ್ನು ಪೇರಿಕೆಗಳಿಂದ ಎತ್ತಿ, ಅದನ್ನು ಆಳವಾದ ನೀರಿನ ಕೊಳಗಳಲ್ಲಿ ಮುಳುಗಿಸಿಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಕೊಳಗಳಿಂದ ಕಾಲುವೆಗಳ ಮೂಲಕವೇ ನೀರೊಳಗಿಂದಲೇ ಸಾಕಷ್ಟು ದೂರದಲ್ಲಿದ್ದ ಇನ್ನೊಂದು ಸ್ಥಾವರಕ್ಕೆ ಈ ಮಿಶ್ರಣವನ್ನು ಸಾಗಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಅಲ್ಲಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲಾಗುತ್ತಿತ್ತು. ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ಸ್ಥಾವರವು, ಪೇರಿಕೆಗಳಿಂದ ಎಷ್ಟು ದೂರವಿತ್ತೆಂದರೆ, ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಓಡಾಡಲು ಒಂದು ರೈಲು ಮಾರ್ಗವನ್ನೇ ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕಾಯಿತು.

ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊ

ಉಳಿದೆರಡು ನಗರಗಳಿಗಿಂತ ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊ ನಗರಕ್ಕೆ ಹೆಚ್ಚು ಬಿಗಿಯಾದ ಭದ್ರತೆ. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ನಿರ್ಮಾಣಗೊಂಡದ್ದು ಇದೇ ನಗರದಲ್ಲಿ.

ನ್ಯೂ ಮೆಕ್ಸಿಕೊ ಪ್ರಾಂತದ ಉತ್ತರ ಭಾಗದಲ್ಲಿ, ಸಮುದ್ರ ಪಾತಳಿಯಿಂದ

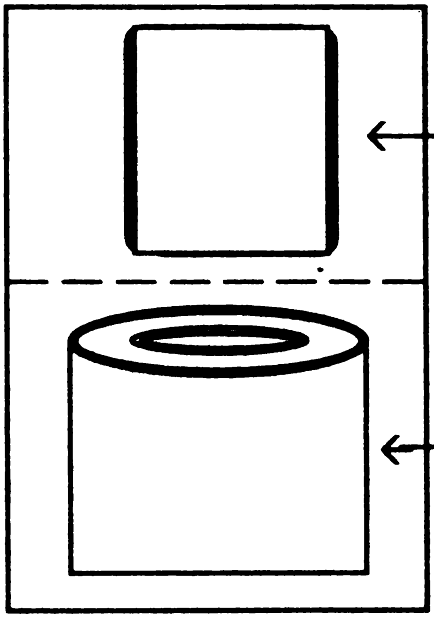
ಸುಮಾರು ಏಳು ಸಾವಿರ ಅಡಿ ಎತ್ತರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಮತಟ್ಟಾದ ಬಯಲು. ಅಲ್ಲೊಂದು ಪುಟ್ಟ ಶಾಲೆ. ಪಕ್ಕದಲ್ಲಿಯೇ ರಿಯೊಗ್ರಾಂಡ್ ನದಿ ಹರಿಯುತ್ತಿತ್ತು. ಅದೊಂದು ಹಳ್ಳಿಯ ಶಾಲೆ. ಹಳ್ಳಿಯ ಹೆಸರು ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊ. ಅಲ್ಲಿಂದ ಸಮೀಪದ ಪಟ್ಟಣವೆಂದರೆ, ಸುಮಾರು 60 ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಸಾಂತಾ ಫೆ. ರೈಲು ಮಾರ್ಗ ಸುಮಾರು 90 ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರದಲ್ಲಿತ್ತು. ಈ ಸ್ಥಳ ಜನರಲ್ ಗ್ರೂವ್ಸ್ ಮತ್ತು ರಾಬರ್ಟ್ ಓಪನ್ ಹೀಮರ್ ಅವರಿಗೆ ರಹಸ್ಯ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಅತ್ಯಂತ ಸೂಕ್ತವೆಂದು ತೋರಿತು. ಓಪನ್ ಹೀಮರ್ ಮೂಲತಃ ನ್ಯೂ ಮೆಕ್ಸಿಕೊ ಪ್ರಾಂತಕ್ಕೆ ಸೇರಿದವನಾಗಿದ್ದು, ಆತನಿಗೆ ಈ ಭಾಗವೆಲ್ಲ ಚಿರಪರಿಚಿತವಾಗಿತ್ತು. 1942ರ ನವೆಂಬರ್ ತಿಂಗಳಲ್ಲಿ ಶಾಲೆ ಸಹಿತವಾಗಿ ಆ ಜಾಗೆಯನ್ನು ಸೈನಿಕ ಉದ್ದೇಶಕ್ಕಾಗಿ ಖರೀದಿ ಮಾಡಿದರು. ಅಂದಿನಿಂದ ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊ ಹಳ್ಳಿ ಬೆಳೆಯಲಾರಂಭಿಸಿತು.

ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ, ಸೆಗ್ರೆ, ನೀಲ್ಸ್ ಬೋರ್, ಜೇಮ್ಸ್ ಚಾಡ್ವಿಕ್ ಮುಂತಾದ ವಿಶ್ವವಿಖ್ಯಾತ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೆಲ್ಲ ಇಲ್ಲಿ ಸೇರಿದರು. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹಗಳು ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ ಓಕ್‌ರಿಜ್ ಮತ್ತು ಹ್ಯಾನ್‌ಫೋರ್ಡ್‌ನಲ್ಲಿ ತಯಾರಾಗಿ ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೋಕ್ಕೆ ಬರುತ್ತಿದ್ದವು. 1945ರ ಜುಲೈ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಬಾಂಬು ನಿರ್ಮಾಣಗೊಂಡಿತು. ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊದಿಂದ ದಕ್ಷಿಣಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು ಮುನ್ನೂರು ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ದೂರದ ಅಲಮಗೊರ್ಡೊ ಎಂಬ ಮರುಭೂಮಿಯಲ್ಲಿ ಜುಲೈ 16ರಂದು ಪರೀಕ್ಷಾರ್ಥ ಅಣ್ವಸ್ತ್ರ ಸ್ಫೋಟವನ್ನು ನಡೆಸಿದರು. ಸ್ಫೋಟವನ್ನು ಕಂಡ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ''ಸಹಸ್ರ ಸೂರ್ಯರಿಗಿಂತಲೂ ಪ್ರಖರ'' ಎಂದು ಉದ್ಗರಿಸಿದರು. ರಾತ್ರಿ ಎಚ್ಚರವಾಗಿದ್ದ ಕೆಲ ಲಾಸ್ ಅಲಮಾಸೊ ನಿವಾಸಿಗಳಿಗೂ ಕೂಡ ಈ ಬೆಳಕು ಗೋಚರಿಸಿತಂತೆ.

ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ರಚನೆ

ಅಣ್ವಸ್ತ್ರಗಳ ರಚನಾ ವಿವರ ರಹಸ್ಯವಾದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳ ರಚನೆಯ ಸ್ಪಷ್ಟ ಚಿತ್ರಣ ದೊರೆಯುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಅದರ ರಚನೆಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಸಾಧ್ಯ.

ವಿದಳನ ಪಟು ಲೋಹದಿಂದ ಎರಡು ಸಿಲಿಂಡರುಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಾರೆ. ಒಂದು ಗಟ್ಟಿ, ಇನ್ನೊಂದು ಪೊಳ್ಳು. ಗಟ್ಟಿ ಸಿಲಿಂಡರು ಪೊಳ್ಳು ಸಿಲಿಂಡರಿನಲ್ಲಿ ಸರಿಯಾಗಿ ಕೂರುವಂತಿರುತ್ತದೆ. ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಸಿಲಿಂಡರಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯು, ಅವಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಿಂತ ಕಡಿಮೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಅವೆರಡೂ ಪರಸ್ಪರ ಸೇರಿಕೊಂಡಾಗ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯು, ಅವಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. (ಚಿತ್ರ 7.3 ನ್ನು ನೋಡಿರಿ.) ಅಂದರೆ



ಚಿತ್ರ 7.3 ಬಾಂಬಿನ ರಚನೆ

ಸಿಲಿಂಡರುಗಳು ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿದ್ದಾಗ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುವುದಿಲ್ಲ. ಅವು ಒಂದುಗೂಡಿದಾಗ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾದರೆ, ಅದು ಬೆಳೆಯುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ.

ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸಲು ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿ ಹರಿದಾಡುವ ಯಾವುದೇ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಸಾಕು. ಹೀಗೆ ಎರಡು ಸಿಲಿಂಡರುಗಳನ್ನು ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಪರೆಯಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿಟ್ಟಿದ್ದು, ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಳದ

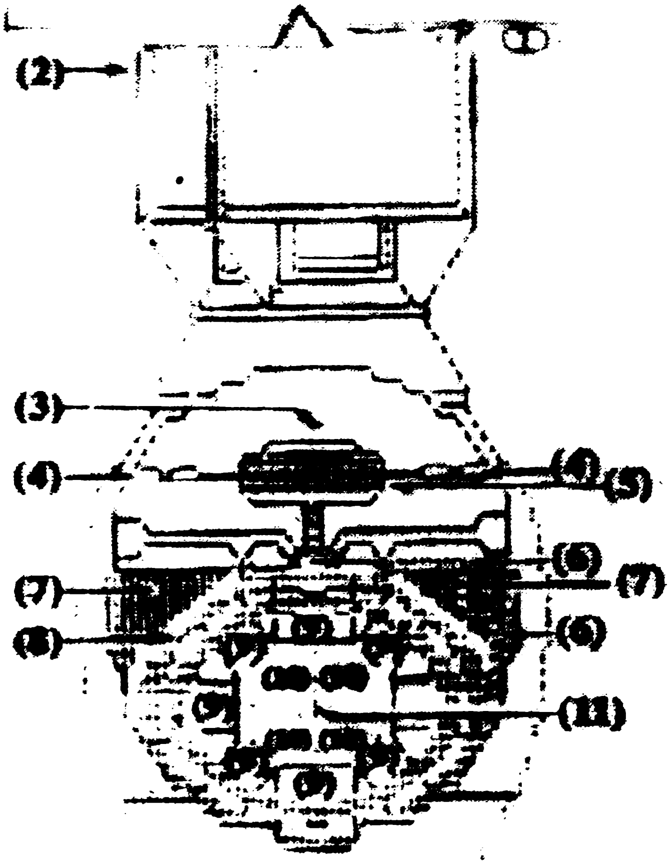
ಮೇಲೆ ಬಾಂಬನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದಾಗ, ಪರೆ ಹರಿದು ಸಿಲಿಂಡರುಗಳು ಒಂದರೊಳಗೊಂದು ಸಿಕ್ಕಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಆಗ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಗಿ, ಬೆಳೆಯುತ್ತ ಭಾರೀ ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಸ್ಥೂಲ ಚಿತ್ರಣ. ಆದರೆ ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಅದರ ಆಂತರಿಕ ರಚನೆ ಅತ್ಯಂತ ಸಂಕೀರ್ಣ.

ದ್ವಿತೀಯ ಜಾಗತಿಕ ಯುದ್ಧದಲ್ಲಿ ಜಪಾನಿನ ಹಿರೊಷಿಮಾದ ಮೇಲೆ ಹಾಕಿದ ಬಾಂಬು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಲೋಹದಿಂದ ಮತ್ತು ನಾಗಾಸಾಕಿಯ ಮೇಲೆ ಹಾಕಿದ ಬಾಂಬು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಲೋಹದಿಂದ ನಿರ್ಮಾಣಗೊಂಡಿದ್ದವು. ಅವೆರಡರ ಆಂತರಿಕ ರಚನೆಯನ್ನು - ಅದೂ ಸಹ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿಯೇ - ಚಿತ್ರ 7.4 ಮತ್ತು ಚಿತ್ರ 7.5ರಲ್ಲಿ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

ಬಾಂಬು ಸಿಡಿದಾಗ . . . .

ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನಿಂದ ವಿದಳನಗೊಂಡಾಗ, ಸರಾಸರಿ ಪ್ರತಿ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ 2.5 ತೀವ್ರಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂಬುದು ನಮಗೆ ಈಗಾಗಲೇ ಗೊತ್ತು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ತಗಲುವ ಕಾಲಾವಧಿ ತೀರ ಕಡಿಮೆ. ಕೇವಲ 10^{-14} ಸೆಕೆಂಡುಗಳಷ್ಟು ಮಾತ್ರ. ಅಲ್ಲದೆ ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಎಷ್ಟು ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆಂದರೆ ಕೇವಲ 10^{-8} ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿಯೇ ಮತ್ತೊಂದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ವಿದಳನ ಗೊಳಿಸುತ್ತವೆ. n ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳ ವಿದಳನೆಯ ತರುವಾಯ $(2.5)^n$ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. (ಇಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಯಾವುದೇ ವಿಧವಾಗಿ ನಷ್ಟವಾಗಿಲ್ಲವೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ.) ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಲೋಹದ 235 ಗ್ರಾಂನಲ್ಲಿ N ಪರಮಾಣುಗಳಿರುತ್ತವೆ. N ಅವೊಗಾಡ್ರೊ ಸಂಖ್ಯೆಯಾಗಿದ್ದು, 6.025×10^{23} ಗೆ ಸಮ. ಆದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಕಿಲೊಗ್ರಾಂ ಶುದ್ಧ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನಲ್ಲಿ 25×10^{23} ಪರಮಾಣುಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಈಗ

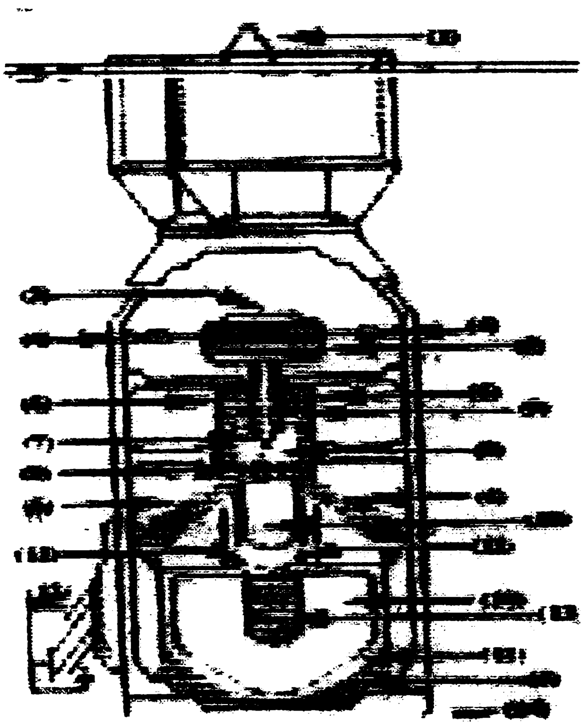
$$(2.5)^n = 25 \times 10^{23}$$



ಚಿತ್ರ 7.4 : ಯುರೇನಿಯಂ ಬಾಂಬು

ಆಂತರಿಕ ಭಾಗಗಳು :

1. ಶಂಕ್ವಾಕೃತಿಯ ಬಾಲ
2. ಸ್ಥಿರತೆ ನೀಡುವ ಬಾಲದ ರೆಕ್ಕೆಗಳು
3. ಹವೆ ಒತ್ತಡದ ಸ್ಫೋಟ ಪ್ರೇರೇಪಕ
4. ಹವೆಯ ಆಗಮನ ಕೊಳವೆ
5. ಔನ್ನತ್ಯ ಮಾಪಕ/ ಒತ್ತಡ ಸೂಕ್ಷ್ಮಗ್ರಾಹಕಗಳು
6. ಸೀಸದ ಕವಚ ಪಾತ್ರೆ
7. ಸ್ಫೋಟ ಪ್ರೇರಕ ಮೂಲ
8.
9. ಪ್ಯಾಕಿಂಗ್
10. ಯುರೇನಿಯಂ- 235
11. ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಉತ್ಸರ್ಜಕ



ಚಿತ್ರ 7.5 : ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಬಾಂಬು

ಆಂತರಿಕ ಭಾಗಗಳು :

1. ಶಂಕ್ವಾಕೃತಿಯ ಬಾಲ
2. ಸ್ಥಿರತೆ ನೀಡುವ ಬಾಲದ ರೆಕ್ಕೆಗಳು
3. ಹವ ಒತ್ತಡದ ಸ್ಫೋಟ ಪ್ರೇರೇಪಕ
4. ಹವೆಯ ಆಗಮನ ಕೊಳವೆ
5. ಔನ್ನತ್ಯ ಮಾಪಕ
6. ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಉಪಕರಣ ಮತ್ತು ಫ್ಯೂಜಿನ ಮಂಡಲ
7. ಸ್ಫೋಟ ಪ್ರೇರಕ ಮೂಲ
8. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಉತ್ಸರ್ಜಕ
9. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಕ ಸ್ಫೋಟಕ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ
10. ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ
11. ಬೆರಿಲಿಯಂ - ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಮಿಶ್ರಣದಲ್ಲಿ ಸ್ಫೋಟಕ ವನ್ನಾರಂಭಿಸುವ ಸಂವೇದಕ
12. ಫ್ಯೂಜುಗಳು
13. ರಾಸಾಯನಿಕ ಸ್ಫೋಟಕ

$n \log 2.5 = 24.398$

ಅಥವಾ $n = 60$

ಆದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಕಿಲೋಗ್ರಾಂ ಯುರೇನಿಯಂ-235ರಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ವಿದಳನಗೊಳಿಸಲು ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲು, ಒಂದಾದ ಬಳಿಕ ಒಂದರಂತೆ ಕೇವಲ ಅರವತ್ತು ವಿದಳನಗಳು ಸಾಕು. ಈ ಇಡೀ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಸುಮಾರು 60×10^{-8} ಸೆಕೆಂಡಿನಷ್ಟು ಅಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಒಂದು ಮೈಕ್ರೊ ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿ. ಒಂದು ಕಿಲೋಗ್ರಾಂ ಯುರೇನಿಯಂ-235, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನಗೊಳಪಟ್ಟಾಗ, ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿ 2.28×10^{7} ಕಿಲೊವ್ಯಾಟ್ ಅವರ್. ಆದರೆ ಇಲ್ಲಿ ಮಹತ್ವದ ಅಂಶವೆಂದರೆ, ಇಷ್ಟು ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವುದು 10^{-6} ಸೆಕೆಂಡಿನಷ್ಟು ಅಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ. ಆ ಕಾರಣ ಭೀಕರ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಮತ್ತು ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಬಲ ಆಘಾತದ ಅಲೆಗಳೂ, ವಿಕಿರಣಗಳೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದರೊಂದಿಗೆ, ಆ ಪರಿಸರದ ಉಷ್ಣತೆ ಒಂದು ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಲ್ಸಿಯಸ್‌ಗಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ.

ಹಿರೋಷಿಮಾದ ಮೇಲೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದಾಗ ಕೆಲಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 1,40,000 ಜನ ಸತ್ತು, ಸಹಸ್ರಾರು ಜನ ಗಾಯಗೊಂಡರು. ಆಘಾತದ ಅಲೆಗಳ ಕಾರಣ ಕಟ್ಟಡಗಳು ಕುಸಿದು ಬಿದ್ದವು. ಆ ಬಾಂಬಿನಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ಶಕ್ತಿ, ಸುಮಾರು 12500 ಟನ್ನುಗಳಷ್ಟು ಟ್ರೈ-ನೈಟ್ರೊ ಟೊಲುವಿನ್ ಸಿಡಿಮದ್ದನ್ನು ಸಿಡಿಸಿದಾಗ ದೊರೆಯುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮನಾಗಿತ್ತು. ನಾಗಾಸಾಕಿಯ ಮೇಲೆ ಸಿಡಿಸಿದ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ಬಾಂಬಿನಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಯಾದ ಶಕ್ತಿ ಸುಮಾರು 22000 ಟನ್ ಸಿಡಿಮದ್ದಿನ (ಟಿ.ಎನ್.ಟಿ) ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮನಾಗಿತ್ತು.

ನಂತರದ ಬೆಳವಣಿಗೆ - ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಾಂಬು

ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳ ಪ್ರಯೋಗದ ನಂತರ ಜಪಾನು ಸಹ ಯುದ್ಧ

ನಿಲ್ಲಿಸಿ ಶರಣಾಯಿತು. ಜಗತ್ತಿನಲ್ಲಿ ಶಾಂತಿ ನೆಲೆಸಿತು. ಆಗ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಶಾಂತಿಯುತ, ಮತ್ತು ಪ್ರಯೋಜನಕಾರಿ ಕೆಲಸಗಳಿಗೆ ಬಳಸುವ ಕುರಿತು ಯೋಚಿಸತೊಡಗಿದರು. ಅವರ ಚಿಂತನೆಯ ಫಲವಾಗಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು (Nuclear Reactor) ಜನ್ಮ ತಾಳಿದವು. ಮತ್ತೆ ಕೆಲ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿಗಿಂತಲೂ ಶಕ್ತಿಶಾಲಿಯಾದ ಅಸ್ತ್ರದ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಯತ್ನಿಸತೊಡಗಿದರು. ಅವರಿಗೆ ಅಮೇರಿಕ ಸರಕಾರದ ಪ್ರೋತ್ಸಾಹ ಕೂಡ ದೊರೆಯಿತು. ಯಾಕೆಂದರೆ, ದ್ವಿತೀಯ ಮಹಾಯುದ್ಧದ ನಂತರ ಜಗತ್ತಿನ ದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳಾಗಿ ಬಿಟ್ಟವು. ಅಮೇರಿಕೆಯ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ಪ್ರಜಾಸತ್ತೆಯ ದೇಶಗಳು ಒಂದಾದರೆ, ರಷ್ಯಾದ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ಕಮ್ಯೂನಿಸ್ಟ್ ದೇಶಗಳು ಒಂದಾದವು. ರಷ್ಯಾ ಮತ್ತು ಅಮೇರಿಕದ ನಡುವೆ ಶೀತಲ ಯುದ್ಧವೇ ಆರಂಭವಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅಣ್ವಸ್ತ್ರ ಪೈಪೋಟಿ ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು.

ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಒಡೆದಾಗ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವಂತೆ, ಎರಡು ಹಗುರಾದ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಒಂದುಗೂಡಿಸಿದಾಗಲೂ ಸಹ ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣು ಒಡೆಯುವ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆ (Fission Reaction) ಎಂದು ಹೇಳಿದರೆ, ಹಗುರಾದ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಒಂದುಗೂಡಿಸುವ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆ (Fusion Reaction) ಎಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಮತ್ತು ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿ ಸಹ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯೇ. ಅದನ್ನು ಸಂಮಿಳನ ಶಕ್ತಿಯೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಾಂಬಿನಿಂದ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವುದು ಸಂಮಿಳನ ಶಕ್ತಿ.

ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಒಂದುಗೂಡಿಸಿ ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ರೂಪಿಸಲಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯೋಣ. ಹಾಗಾದಲ್ಲಿ ಆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆ ಕೆಳಗಿನಂತಿರುತ್ತದೆ.

$$2\,{}_1H^1 + 2\,{}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4$$

ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ = 1.00814 a.m.u

ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ= 1.00898 a.m.u.

ಆದ್ದರಿಂದ 2(1.00814 + 1.00898) = 4.03424 a.m.u.

ಇದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸಿದ ಮೂಲ ಕಣಗಳ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ.

ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ = 4.00388 a.m.u.

ಎರಡರ ವ್ಯತ್ಯಾಸ = (4.03424 - 4.00388)

= 0.0304 a.m.u.

1 a.m.u., 931.2 MeV ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮನಾದ್ದರಿಂದ ಪ್ರತಿ ಸಂಮಿಳನ್ನದಲ್ಲಿ 0.0304 x 931.2 = 28.2 MeV ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗಬೇಕು. (MeV = ಮಿಲಿಯ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್)

ನಾಲ್ಕು ಕಣಗಳನ್ನು ಸಮೀಪ ತಂದು ಸಂಮಿಳನಗೊಳಿಸುವುದು ಅಸಾಧ್ಯವೆಂದೇ ಹೇಳಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಎರಡು ಡ್ಯುಟೆರಾನುಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸಿ ಒಂದು ಹೀಲಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ರೂಪಿಸುವುದು ಹೆಚ್ಚು ಅನುಕೂಲಕರ. ಈ ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

$$_1H^2 + _1H^2 \rightarrow _1H^3 + _1H^1 + 4.02 \text{ MeV}$$

ಅಥವಾ

$$_1H^2 + _1H^2 \rightarrow _2He^3 + _0n^1 + 3.25 \text{ MeV}$$

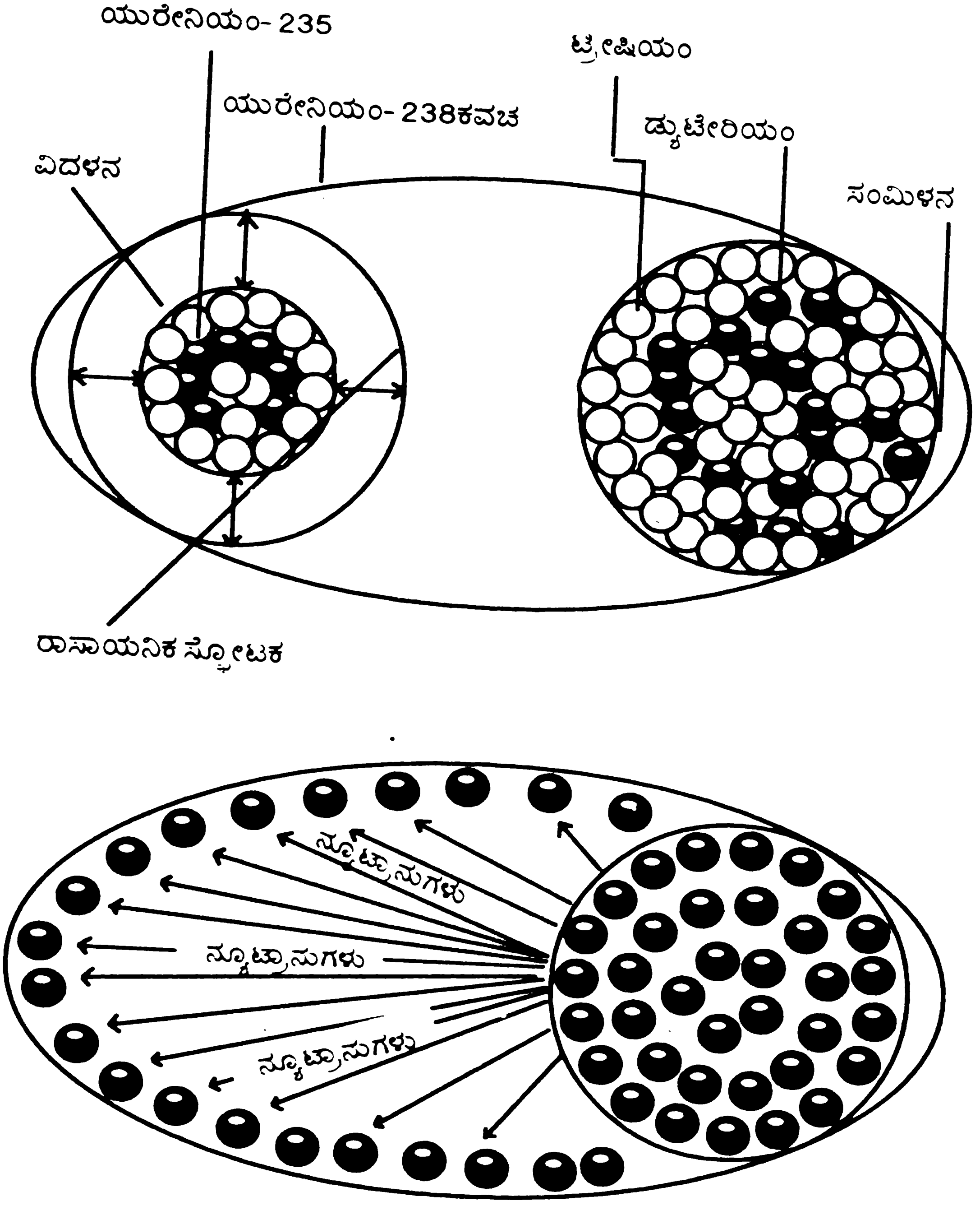
ಡ್ಯುಟೇರಿಯಮ್ ಮತ್ತು ಟ್ರೀಷಿಯಂಗಳ ನಡುವೆಯೂ ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯ.

$$_1H^2 + _1H^3 \rightarrow _2He^4 + _0n^1 + 17.6 \text{ MeV}$$

$$_1H^2 + _2He^3 \rightarrow _2He^4 + _1H^1 + 18.3 \text{ MeV}$$

$_1H^3$ ಮತ್ತು $_2He^3$ ಗಳು ಡ್ಯುಟೆರಾನ್-ಡ್ಯುಟೆರಾನ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುವ ಉತ್ಪನ್ನಗಳೆಂಬುದನ್ನು ಗಮನಿಸಿರಿ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನಾಧರಿಸಿ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು, ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದಾಗ ತೀರ ಕಡಿಮೆಯೆನಿಸಬಹುದು. ಆದರೆ ಪ್ರತಿ ಏಕಮಾನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಂಮಿಳನ ಶಕ್ತಿ, ವಿದಳನ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಎಷ್ಟೋ ಪಟ್ಟು ಅಧಿಕ. ಯಾಕೆಂದರೆ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಭಾರವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಪಾತ್ರ ವಹಿಸಿದರೆ ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಹಗುರಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಭಾಗವಹಿಸುತ್ತವೆ.

ಹಗುರಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಸಂಮಿಳನಗೊಳಿಸುವುದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಯೇನೋ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಅವುಗಳನ್ನು ಸಂಮಿಳಿಸುವುದು ಹೇಗೆ? ಯಾವುದಾದರೂ ಲೋಹದ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳನ್ನು ಒಂದುಗೂಡಿಸ ಬೇಕಾದರೆ, ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಜೋಡಿಸಿ ಬೆಸೆಯುತ್ತೇವೆ. ಅದೇ ರೀತಿ ಸುಮಾರು 1 ರಿಂದ 2 ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಲ್ಸಿಯಸ್‌ಗಳಷ್ಟು ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಇಷ್ಟು ಉಷ್ಣತೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಸ್ಫೋಟಗೊಂಡಾಗ ಮಾತ್ರ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಸಂಮಿಳನ ಬಾಂಬನ್ನು ಸ್ಫೋಟಗೊಳಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಮೊದಲು ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಅಥವಾ ವಿದಳನ ಬಾಂಬನ್ನು ಸ್ಫೋಟಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಸಂಮಿಳನ ಬಾಂಬಿನಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ವಸ್ತು ಹೈಡ್ರೊಜನ್ ಮೂಲದ್ದಾದ್ದರಿಂದ, ಅದಕ್ಕೆ ಹೈಡ್ರೊಜನ್ ಬಾಂಬು ಎಂದು ಹೆಸರು ಬಂತು. ಹಾಗೆ ನೋಡಿದರೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ವಿದಳನ ಬಾಂಬು ಎಂದೂ, ಹೈಡ್ರೊಜನ್ ಬಾಂಬನ್ನು ಸಂಮಿಳನ ಬಾಂಬು ಎಂದೂ ಕರೆಯಬಹುದು. ಮೊದಲ ಹೈಡ್ರೊಜನ್ ಬಾಂಬನ್ನು ಅಮೇರಿಕಾ 1952 ರಲ್ಲಿ ಪೆಸಿಫಿಕ್ ಮಹಾಸಾಗರದ ಬಿಕಿನಿ ದ್ವೀಪದಲ್ಲಿ ಪರೀಕ್ಷಾರ್ಥ ಸ್ಫೋಟಿಸಿತು. ಅದನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿ ಎಡ್ವರ್ಡ್ ಟೆಲ್ಲರ್ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಈ ಸ್ಫೋಟದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಉಷ್ಣತೆ 180 ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಲ್ಸಿಯಸ್‌ಗಳಷ್ಟು. ಇದು ಸೂರ್ಯನ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿರುವ ಉಷ್ಣತೆಯ ಹತ್ತರಷ್ಟು.



ಚಿತ್ರ 7.6 : ಹೈಡ್ರೊಜನ್ ಬಾಂಬಿನ ಸ್ಥೂಲರಚನೆ

ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಾಂಬಿನ ಸ್ಥೂಲ ರಚನೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ7.6ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235ರಿಂದ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ವಿದಳನ ಬಾಂಬು, ಅದಕ್ಕಂಟಿಕೊಂಡು ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಟ್ರೀಷಿಯಂ ಮಿಶ್ರಣದ ಒಂದು ಗೋಲ, ಅವುಗಳ ಸುತ್ತ ಯುರೇನಿಯಂ-238 ಲೋಹದ ಕವಚ. ವಿದಳನ ಬಾಂಬು ಸ್ಫೋಟಗೊಂಡಾಗ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಗುತ್ತದೆ. ಸಂಮಿಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯೊಂದಿಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತವೆ. ಇವು ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು. ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ-238 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ವಿದಳನಗೊಳಿಸುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಾಂಬಿನಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ವಿದಳನ, ಅನಂತರ ಸಂಮಿಳನ, ಪುನಃ ವಿದಳನ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದನ್ನು ವಿದಳನ-ಸಂಮಿಳನ-ವಿದಳನ ಬಾಂಬು(Fission-Fusion-Fission) ಎಂದೂ ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ.

ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನಿಂದಾಗುವ ಹಾನಿಯೇ ಅಪಾರವಾಗಿರುವಾಗ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಾಂಬು ಎಂತಹ ಅನಾಹುತವಮಾಡಬಲ್ಲದೆಂಬುದನ್ನು ಊಹಿಸಲೂ ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಅಲ್ಲದೆ, ತಾತ್ವಿಕವಾಗಿ ಹೈಡ್ರೋಜನ್ ಬಾಂಬಿನ ಗಾತ್ರಕ್ಕೆ ಮಿತಿಯೇ ಇಲ್ಲ!

8. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು

ಷಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಸ್ಕ್ವಾಷ್ ಕ್ರೀಡಾಂಗಣದಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಯ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಪರಮಾಣು ಪೇರಿಕೆಯೇ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಆದರೆ ಆಗ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳ ಮುಖ್ಯ ಗುರಿ, ಸೇನೆಗೆ ಯುದ್ಧವನ್ನು ಗೆಲ್ಲುವುದರಲ್ಲಿ ಸಹಾಯ ಮಾಡುವುದಾಗಿತ್ತು. ಅವರ ಗಮನವೆಲ್ಲ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿತ್ತು. ಯುದ್ಧಾನಂತರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಶಕ್ತಿಯ ಶಾಂತಿಯುತ ಬಳಕೆಯತ್ತ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಗಮನ ಹರಿಸಿದರು. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು, ಫರ್ಮಿ ಆಗಲೇ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ನಿಯಂತ್ರಿಸಿ ತೋರಿಸಿದ್ದ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಜನಬಳಕೆಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಸಂದೇಹವೇನಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಅದನ್ನು ಬಳಸಿಕೊಳ್ಳುವ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನವನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸುವ ಅಗತ್ಯವಿತ್ತು. ಅದರ ಫಲವಾಗಿ ಜನ್ಮತಾಳಿದವು ವಿವಿಧ ಬಗೆಯ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ತತ್ವ

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಒಮ್ಮೆ ವಿದಳನ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಯಿತೆಂದರೆ, ಅದು ಒಂದೇ ಗತಿಯಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಯುವ, ಬೆಳೆಯುತ್ತ ಹೋಗುವ ಅಥವಾ ನಿಂತು ಬಿಡುವ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಅಂಶವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ. ಆ ಅಂಶವನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕ (Effective Multiplication Factor) ವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಸಮನಾದ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ಒಡೆಯುತ್ತದೆ. ಅದರೊಂದಿಗೆ

ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಹೊಸದಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಮತ್ತೆ ಕೆಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಒಡೆದು ಪುನಃ ಮತ್ತಷ್ಟು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಗೊಳಿಸುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಗುಣಿತವಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದಕ್ಕೆ ಗುಣಿತಾಂಕವೆನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಒಂದು ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಎಲ್ಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೂ ವಿದಳನೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲಾರವು. ಕೆಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ವಿವಿಧ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಷ್ಟವಾಗುತ್ತವೆ. ಕೆಲವು ಮಾತ್ರ ವಿದಳನೆಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡುವಲ್ಲಿ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಯಾವ ರೀತಿ ನಡೆಯಬಲ್ಲದೆಂಬುದನ್ನು ತೀರ್ಮಾನಿಸುವ ಅಂಶವನ್ನು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. (6ನೆಯ ಅಧ್ಯಾಯ ನೋಡಿರಿ) ಆದ್ದರಿಂದ,

$$\text{ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕ} = \frac{\text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರ}}{\text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಅವಶೋಷಣೆಯ ದರ} + \text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸೋರಿಕೆಯ ದರ}}$$

ಇಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಶೋಷಣೆಯು, ಎಲ್ಲ ಬಗೆಯ ಅಂದರೆ, ವಿದಳನೆಯಾಗುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಶೋಷಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು, ಮತ್ತು ವಿದಳನೆಯಾಗದೆ, (n,r) ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಸೇರುತ್ತವೆ.

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದ ವಿವರಗಳನ್ನು ಸಂಕೇತಗಳ ಮೂಲಕ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

k_e = ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕ

P - ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರ

A - ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಅವಶೋಷಣೆಯ ದರ

L - ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸೋರಿಕೆಯ ದರ

ಇದ್ದರೆ, $k_e = \frac{P}{A+L}$ .... (8.1)

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ $k_e = 1$ ಇದ್ದರೆ, ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆ ಒಂದೇ ಗತಿಯಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಯುತ್ತದೆ. ಇಂತಹ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಅವಧಿಕ (critical) ಸ್ಥಿತಿ ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ. $k_e > 1$ ಇದ್ದರೆ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಬೆಳೆಯುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಅತಿ ಅವಧಿಕ (Super Critical) ಸ್ಥಿತಿ ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ. $k_e < 1$ ಇದ್ದರೆ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ನಿಂತು ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಉಪಾವಧಿಕ (sub critical) ಸ್ಥಿತಿ ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ.

F, ವಿದಳನೆಯ ದರವಿದ್ದು, ಪ್ರತಿ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸರಾಸರಿ ಸಂಖ್ಯೆ ν ಇದ್ದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದರ,

$P = \nu F$ .... (8.2)

(8.1) ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ P ಯ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಆದೇಶಿಸಿದರೆ, ಆಗುತ್ತದೆ.

$$k_e = \frac{\nu F}{A+L}$$

ಇದನ್ನೇ

$$k_e = \frac{\nu F}{A} \frac{1}{1+(L/A)} \qquad \text{.....................} \quad (8.3)$$

F/A ಅನುಪಾತವು, ವಿದಳನಪಟು ಮತ್ತು ವಿದಳನೆಯಾಗದ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಿಮಾಣವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲದೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಆ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಅವು ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳುವ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸೆರೆಹಿಡಿದುಕೊಳ್ಳುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಗಳನ್ನು ಸಹ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

L/A ಅನುಪಾತವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಹಿಡಿದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಲ್ಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಮತ್ತು ಅವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಸೋರಿ ಹೋಗುವ ಮೊದಲೇ ಅವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗಾತ್ರವು ಕಡಿಮೆಯಾದಂತೆ, ಅದರ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಸೋರಿ ಹೋಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಹಾಗಾದಾಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಶೋಷಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಸಹಜವಾಗಿಯೇ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಸ್ಥಿತಿ ಮುಂದುವರಿದರೆ, L/A ದ ಮೌಲ್ಯ ಅನಂತ (Infinity) ವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತದೆ. ಆಗ k_e ಶೂನ್ಯವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತದೆ. ಒಂದು ವೇಳೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗಾತ್ರ ಹೆಚ್ಚುತ್ತ ಹೋದರೆ, L/A ಯ ಮೌಲ್ಯ ಶೂನ್ಯವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಆಗ,

$$k_e \simeq \frac{\nu F}{A}$$ ಆಗುತ್ತದೆ.

$k_e = 1$ ಆಗಬೇಕಾದರೆ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗೆ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಗಾತ್ರವಿರಬೇಕು. ಆ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಅವಧಿಕ ಗಾತ್ರವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಆ ಗಾತ್ರದ ವಿದಳನ ಪಟು ವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಅವಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಎಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ.

ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕ (k_e) ದ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯ ಸ್ಪಷ್ಟ ಅರಿವಿಗಾಗಿ ಸಂಖ್ಯಾತ್ಮಕ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ಪರಿಗಣಿಸುವಾ. k_e ಯ ಮೌಲ್ಯ 1 ಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಅಧಿಕ ಅಂದರೆ 1.05 ಇದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. 100 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಮೊದಲ ಹಂತದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಯನ್ನು ಪ್ರಾರಂಭಿಸಲಾಗಿದೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯಿರಿ. ಎರಡನೆಯ ಹಂತದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ - 100 X 1.05 = 105 ಆಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಪ್ರತಿ ಹಂತದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚುತ್ತ ಹೋಗಿ, 100ನೆಯ ಹಂತದ ತರುವಾಯ 14800 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಅಂತಹ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಹತೋಟಿ ತಪ್ಪುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ. ಆಗ ಅದರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಶೋಷಕ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು

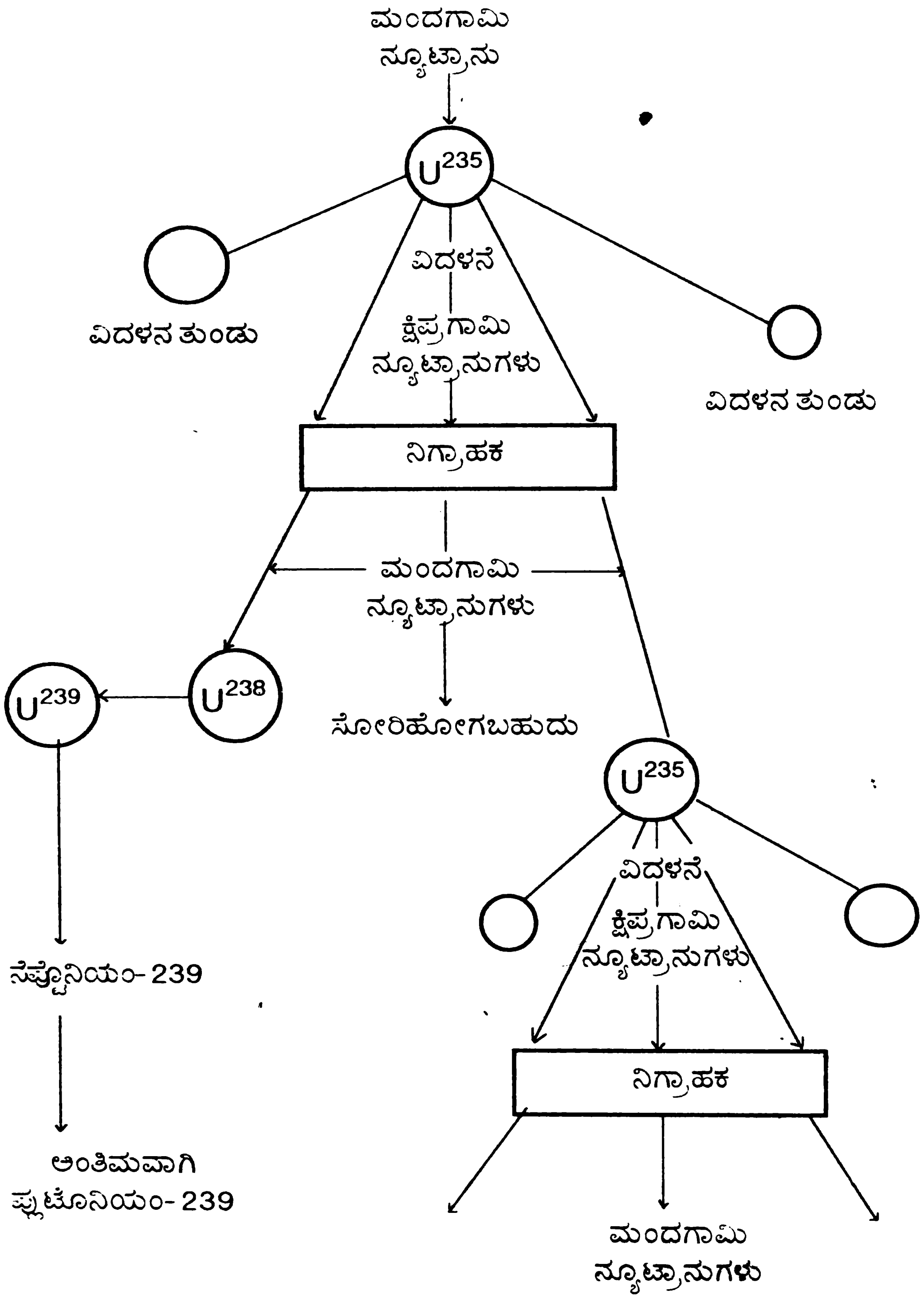
ನಿಯಂತ್ರಿಸಬಹುದು.

ಒಂದು ವೇಳೆ k_eಯ ಮೌಲ್ಯ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಿಮೆ ಅಂದರೆ, 0.95 ಇದೆಯೆಂದುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಆಗ 100 ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಆರಂಭಿಸಿದರೆ, ಎರಡನೆಯ ಹಂತದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ 95 ಆಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರತಿ ಹಂತದಲ್ಲಿ ಅದು ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ 92 ಹಂತಗಳ ತರುವಾಯ ಕೇವಲ ಒಂದೇ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಉಳಿಯುತ್ತದೆ.

$k_e = 1$ ಇದ್ದರೆ, ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಎಷ್ಟು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಆರಂಭಿಸಿರುತ್ತದೆಯೋ, ಎಷ್ಟೇ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ವಿದಳನೆ ನಡೆದರೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಮೊದಲಿನಷ್ಟೇ ಉಳಿಯುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆ ಒಂದೇ ಗತಿಯಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಯುತ್ತದೆ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವುದೇನು ?

ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ (8. 1) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆ ನಡೆದು ಶಕ್ತಿ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಮಾಣವು ಪ್ರತಿ ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ವಿದಳನೆಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಸಮಾನುಪಾತದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಸಮಾನುಪಾತದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ನಿಯಂತ್ರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯ. ಅದಕ್ಕೆ ಬಳಸುವ ಸಾಮಾನ್ಯ ವಿಧಾನವೆಂದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಶೋಷಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯೊಳಗೆ ಸೇರಿಸುವುದು. ಆ ವಸ್ತು ಸರಳಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದರೆ ಹೆಚ್ಚು ಅನುಕೂಲ. ಈ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಬೊರಾನ್ ಮಿಶ್ರಿತ ಉಕ್ಕಿನ ಸರಳನ್ನು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ಸೇರಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳು (Controlling Rod) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳನ್ನು ಹೊರಗೆಳೆದಾಗ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ; ಒಳದೂಡಿದಾಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ



ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು
U235
ವಿದಳನ ತುಂಡು
ವಿದಳನೆ
ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು
ವಿದಳನ ತುಂಡು
ನಿಗ್ರಾಹಕ
ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು
U239
U238
ಸೋರಿಹೋಗಬಹುದು
U235
ವಿದಳನೆ
ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು
ನೆಪ್ಟೂನಿಯಂ-239
ನಿಗ್ರಾಹಕ
ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239
ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು

ಚಿತ್ರ 8. 1

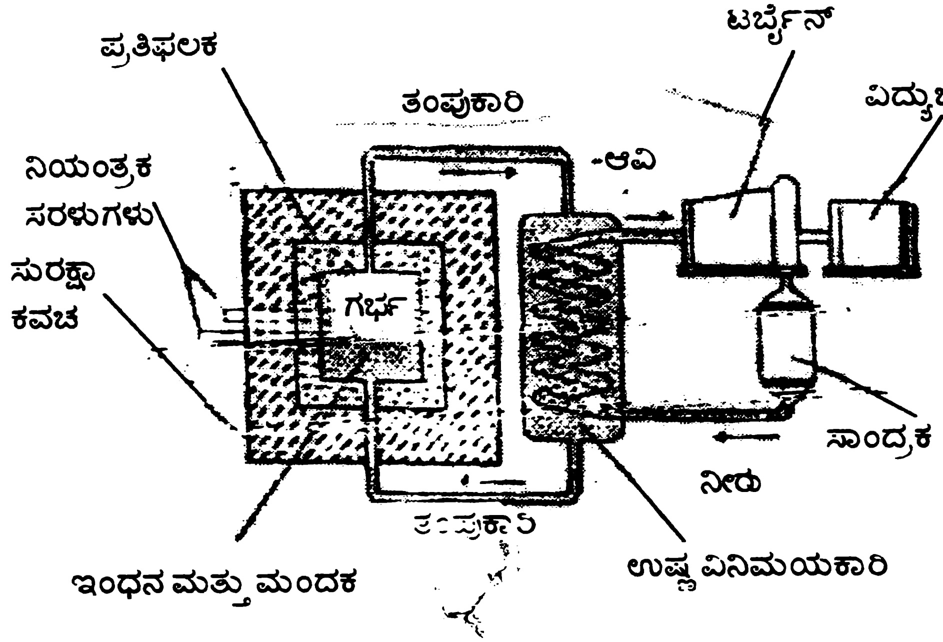
ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳಿನ ಸಹಾಯದಿಂದ, ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ ಗುಣಿತಾಂಕಕ್ಕೆ ನಾವು ಇಚ್ಛಿಸಿದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ನೀಡಬಹುದು ಅಥವಾ k_e ನ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಇದು ತೀರ ಮಹತ್ವದ ಅಂಶ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಮುಂದುವರಿದಂತೆ, ಅದರಲ್ಲಿರುವ ವಿದಳನ ಪಟು ವಸ್ತುವು ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ತತ್ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ F/A ಅನುಪಾತದ ಮೌಲ್ಯ ಸಹ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಸ್ಥಿರವಾಗಿ ಕಾಯ್ದುಕೊಂಡು ಹೋಗಲು, ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಶೋಷಕ ಸರಳನ್ನು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಗತಿಯಿಂದ ಹೊರಗೆಳೆಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದರೆ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿರುವ ವಿದಳನಪಟು ವಸ್ತುವಿನ ಬಳಕೆಯಾಗಿ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಉಪಾವಧಿಕ (Sub critical) ಹಂತವನ್ನು ತಲುಪಿ ತನ್ನ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ನಿಲ್ಲಿಸಿಬಿಡುತ್ತದೆ. ಆಗ ಅದಕ್ಕೆ ಪುನಃ ವಿದಳನ ಪಟು ವಸ್ತುವನ್ನು ತುಂಬಬೇಕು.

ಹಾಗೆ ನೋಡಿದರೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಸಹ ಅಸ್ಥಿರವಾದದ್ದೆ. ಅದರ ಅರ್ಧಾಯುಮಾನ ಸುಮಾರು 12 ನಿಮಿಷಗಳು. ಆದರೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಕಾರ್ಯವಿಧಾನದ ಮೇಲೆ ಇದು ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಉಂಟು ಮಾಡದು. ಯಾಕೆಂದರೆ ವಿದಳನೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು, ಮತ್ತೆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸನ್ನು ತಾಡಿಸಿ, ಅದನ್ನು ವಿದಳನಗೊಳಿಸಲು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುವ ಕಾಲಾವಧಿ ಕೇವಲ 10^{-3} ಸೆಕೆಂಡುಗಳು ಮಾತ್ರ. ಆದ್ದರಿಂದ ವಿಘಟನೆ (decay) ಯಿಂದ ನಷ್ಟವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಉಪೇಕ್ಷಿಸಬಹುದಾದಷ್ಟು ಕಡಿಮೆ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ರಚನೆ - ಕಾರ್ಯ

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ವಿನ್ಯಾಸಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಕಷ್ಟು ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳುಂಟು. ಆದರೆ ಅವುಗಳ ಸ್ಥೂಲರಚನೆ ಮಾತ್ರ ಹೆಚ್ಚುಕಡಿಮೆ ಒಂದೇ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಚಿತ್ರ 8.2 ರಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯೊಂದರ ಸ್ಥೂಲರಚನೆಯನ್ನೂ ಕಾರ್ಯವಿಧಾನವನ್ನೂ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 8.2

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಮಧ್ಯಭಾಗದ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ (Core) ವಿದಳನ ಪಟು ವಸ್ತುವನ್ನು ತುಂಬಿರುತ್ತಾರೆ. ವಿದಳನ ಪಟು ವಸ್ತುವನ್ನು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಇಂಧನವೆಂದೂ ಕರೆಯುವುದುಂಟು. ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸೋರಿಕೆಯನ್ನು ತಡೆಯಲು, ಗರ್ಭದ ಸುತ್ತ ಪ್ರತಿಫಲಕವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಹೊರಸೂಸುವ ವಿಕಿರಣವು ಅಪಾಯಕಾರಿ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದನ್ನು ತಡೆಗಟ್ಟಲು ಸುತ್ತಲೂ ದಪ್ಪನಾದ ಕಾಂಕ್ರೀಟು ಗೋಡೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿರುತ್ತಾರೆ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾದೊಡನೆ, ಅಧರ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆ ಆರಂಭವಾಗುತ್ತದೆ. ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸಲು, ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳುಗಳನ್ನು ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ಆಳವಡಿಸಲಾಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳನ್ನು ಒಳದೂಡಲು ಅಥವಾ ಹೊರಗೆಳೆಯಲು ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಾಖವನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾದ ತಂಪುಕಾರಿಯಿಂದ ಹೊರತೆಗೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಶಾಖವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡ ತಂಪುಕಾರಿಯು ಉಷ್ಣವಿನಿಮಯಕಾರಿ (Heat Exchanger) ಎಂಬ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದು ಬರುವಾಗ, ಅದರ ಶಾಖ, ನೀರಿಗೆ ವರ್ಗಾವಣೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಶಾಖವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡ ನೀರು ಆವಿಯಾಗಿ ಟರ್ಬೈನನ್ನು ತಿರುಗಿಸುತ್ತದೆ. ಟರ್ಬೈನಿಗೂ ವಿದ್ಯುಜ್ಜನಕಕ್ಕೂ ಸಂಪರ್ಕ ವಿರುವುದರಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್ತು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಟರ್ಬೈನನ್ನು ತಿರುಗಿಸಿದ ಆವಿಯು ಸಾಂದ್ರಕದಲ್ಲಿ ಹಾಯುವಾಗ ಮತ್ತೆ ನೀರಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅದು ಮತ್ತೆ ಶಾಖವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳಲು ಉಷ್ಣವಿನಿಮಯಕಾರಿಯನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತದೆ. ಪುನಃ ಆವಿಯಾಗಿ ಟರ್ಬೈನಿನೆಡೆಗೆ ಚಲಿಸುತ್ತದೆ. ಇದು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಕಾರ್ಯವಿಧಾನದ ಸ್ಥೂಲ ಚಿತ್ರಣ.

ಈಗ ವಿವಿಧ ಬಗೆಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಪ್ರಮುಖ ಘಟಕಗಳ ಕುರಿತು ಮತ್ತಷ್ಟು ವಿವರವಾಗಿ ವಿವೇಚಿಸೋಣ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ವಿದಳನೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಧರಿಸಿ, ಮಂದಗಾಮಿ, ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಮತ್ತು ಮಧ್ಯಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳೆಂದು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಮೂರು ಭಾಗಗಳಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಿರುತ್ತಾರೆ.

ಮಂದಗಾಮಿ, ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಮತ್ತು ಮಧ್ಯಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು

ಮಂದಗಾಮಿ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಾನೆಚ್ಚು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ವಿದಳನೆಗಳು, ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವ ಕಾರಣ ನಡೆಯುತ್ತವೆ. ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಗೆ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಪರಿಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ ಔಷ್ಣಿಕ (Thermal) ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೆಂದೂ ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಔಷ್ಣಿಕ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳೆಂದೂ ಹೇಳುತ್ತಾರೆ. ಈ ವಿಧದ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸುವುದಕ್ಕೋಸ್ಕರ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನಿಗ್ರಾಹಕವನ್ನು ಅದರ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ತುಂಬಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಒಂದು

ಅನುಕೂಲವೆಂದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಬಳಸುವ ವಿದಳನ ಪಟುವಸ್ತು ಮತ್ತು ನಿಗ್ರಾಹಕ ವಸ್ತುಗಳನ್ನವಲಂಬಿಸಿ, ಅದರ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂನ್ನು ಇಂಧನವಾಗಿ ಮತ್ತು ಗ್ರಾಫೈಟನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವಾಗಿ ಬಳಸಿದರೆ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ವ್ಯಾಸ ಸುಮಾರು 20 ಅಡಿಗಳಷ್ಟಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದು ವೇಳೆ ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿ, ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಶೇಕಡಾ 90ಕ್ಕೇರಿಸಿದರೆ, ಮತ್ತು ನೀರನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಆಗ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ವ್ಯಾಸ 30-50 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳಷ್ಟಿದ್ದರೆ ಸಾಕು. ಆದರೆ ಈ ಬಗೆಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅನಾನುಕೂಲವೂ ಉಂಟು. ಅದೇನೆಂದರೆ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ವಸ್ತುಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಅದರಿಂದ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ನಷ್ಟವುಂಟಾಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಾನೆಚ್ಚು ವಿದಳನೆಗಳು ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ನಡೆಯುತ್ತವೆ. ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳೆಂದರೆ, ವೇಗವಾಗಿ, ಚಲಿಸುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ (Fast) ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳೆಂದು ಹೆಸರು ಬಂದಿದೆ. ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸುವ ಅಗತ್ಯವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದರಲ್ಲಿ ನಿಗ್ರಾಹಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಅಲ್ಲದೆ ಇಂಧನದಲ್ಲಿ ಕೂಡ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ರ ಪ್ರಮಾಣ ಶೇಕಡಾ 20 ರಿಂದ 25ರಷ್ಟಿದ್ದರೆ ಸಾಕು. ಆದರೆ ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಅವಧಿಕ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ತಲುಪಬೇಕಾದರೆ, ಇಂಧನದ ಪ್ರಮಾಣ ಸಾಕಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗರ್ಭದ ಗಾತ್ರ ದೊಡ್ಡದಾಗುತ್ತದೆ. ಇಂತಹ ಕೆಲ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ. ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಹೆಚ್ಚುಗಾರಿಕೆಯೆಂದರೆ, ಅದು ವಿದಳನಪಟು ವಸ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆ ನೋಡಿದರೆ ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಒಂದು ರೀತಿ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಇದ್ದಂತೆಯೆ. ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗಿದ್ದಾಗ, ಇದರಿಂದ ಶಾಖವನ್ನು

ಹೊರತೆಗೆಯುವುದು ಕಷ್ಟ. ಆದರೂ ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ ನಿಯಂತ್ರಣದಲ್ಲಿಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ.

ಮಧ್ಯಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯೆಂದರೆ, ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ಮತ್ತು ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ನಡುವಂತರದ ಅವಸ್ಥೆಯದ್ದು. ಅಂದರೆ ಇದರಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗ ಅತೀ ಹೆಚ್ಚೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ ಹಾಗೂ ತೀರ ಕಡಿಮೆಯೂ ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದಷ್ಟು ಹೇರಳವಾಗಿ ನಿಗ್ರಾಹಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಇದರಲ್ಲಿ ಬಳಸಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ಬಗೆಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಬಗ್ಗೆ ನಂತರದ ದಿನಗಳಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅಷ್ಟು ಆಸಕ್ತಿ ವಹಿಸಲಿಲ್ಲ.

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಘಟಕಗಳು

ಇಂಧನ (Fuel), ನಿಗ್ರಾಹಕ (Moderator), ಪ್ರತಿಫಲಕ (Reflector), ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳು (Controlling Rods) ಗಳು, ತಂಪುಕಾರಿ (Coolant) ಮತ್ತು ರಕ್ಷಣಾಕವಚ (Shield) ಇವು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಪ್ರಮುಖ -ಘಟಕಗಳೆಂಬುದು ನಮಗೀಗಾಗಲೇ ಗೊತ್ತು. ಅವುಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಮತ್ತಷ್ಟು ವಿವರವಾಗಿ ತಿಳಿಯೋಣ.

(a) ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಇಂಧನ

ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂ, ಯುರೇನಿಯಂ-235, ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ಮತ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ-233 ಇವುಗಳನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಇಂಧನವಾಗಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುತ್ತಿದ್ದರೂ, ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿ ಅದರ ಪ್ರಮಾಣ ಬಹಳ ಕಡಿಮೆ; ಕೇವಲ ಶೇಕಡಾ 0.7ರಷ್ಟು. ಇದನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿಕೊಂಡಾಗಲಿ ಅಥವಾ ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂನಲ್ಲಿ ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿಯಾಗಲೀ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ.

ಯುರೇನಿಯಂ-238 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ

ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಉಂಟಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಥೋರಿಯಂ-232 ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ಲಭ್ಯವಿರುವ ಮೂಲವಸ್ತು. ಅದನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ, ಥೋರಿಯಂ-233 ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಥೋರಿಯಂ-233 ಅಸ್ಥಿರ ಮತ್ತು ಅದರ ಅರ್ಧಾಯು 23.5 ನಿಮಿಷಗಳು. ಅದು ಬೀಟಾಕಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಪ್ರೊಟಾಕ್ಟಿನಿಯಂ-233 ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಕೂಡ ಅಸ್ಥಿರವಾದದ್ದೆ ಇದರ ಅರ್ಧಾಯು 27.4ದಿನಗಳು. ಪ್ರೊಟಾಕ್ಟಿನಿಯಂ-233 ಬೀಟಾಕಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಯುರೇನಿಯಂ-233 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ಅರ್ಧಾಯು 1.63 x 10^5 ವರ್ಷಗಳು. ಇಡೀ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

$$ {}_{90}Th^{232} + n \rightarrow {}_{90}Th^{233} \xrightarrow{\beta^-} {}_{91}Pa^{233} \xrightarrow{\beta^-} {}_{92}U^{233} $$

ಯುರೇನಿಯಂ-233 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ವಿದಳನ ಪಟುವಾಗಿದ್ದು ಅದನ್ನು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಇಂಧನವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ಅದರಲ್ಲಿ ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯ.

1 ಮಿಲಿಯನ್ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ವೋಲ್ಟ್ ಶಕ್ತಿಯ ಕ್ಷಿಪ್ರಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ, ಯುರೇನಿಯಂ-238 ಮತ್ತು ಥೋರಿಯಂ -232 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ವಿದಳನಗೊಳಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಆದರೆ ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಯುರೇನಿಯಂ-233, ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಮತ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ-239 ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಯಾವುದೇ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ ವಿದಳನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ.

ಇಂಧನವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಿಲಿಂಡರಾಕಾರದ ಸರಳುಗಳ ರೂಪಕ್ಕೆ ತರುತ್ತಾರೆ. ಇವುಗಳ ವ್ಯಾಸ ಸುಮಾರು ಒಂದು ಅಂಗುಲದಷ್ಟಿರಬಹುದು. ಈ ಸರಳುಗಳನ್ನು ಲೋಹದ ಕೊಳವೆಗಳಲ್ಲಿ ಸೇರಿಸಿ ಮೊಹರು ಮಾಡಿಬಿಡುತ್ತಾರೆ. ಕೊಳವೆಗಳನ್ನು ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ, ಮೆಗ್ನೀಶಿಯಂ, ಝಿರ್ಕೋನಿಯಂ ಅಥವಾ ಸ್ಟೈನ್‌ಲೆಸ್ ಸ್ಟೀಲಿನಿಂದ ತಯಾರಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಹೀಗೆ ಇಂಧನ ತುಂಬಿದ ಕೊಳವೆಗಳನ್ನು, ನಿಗ್ರಾಹಕ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತ ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇಂಧನದ ವಿದಳನ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಕಡಿಮೆಯಾದ ಬಳಿಕ, ಕೊಳವೆಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಳೆದು ಮತ್ತೆ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಹೊಸ ಇಂಧನವನ್ನು ತುಂಬಿ, ಸ್ವಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ಅವುಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸಿಬಿಡಬಹುದು. ಫಲಕರೂಪದಲ್ಲಿ ಸಹ ಇಂಧನ ವಸ್ತುವನ್ನು ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡು, ಅವನ್ನು ಲೋಹದ ಚೌಕಟ್ಟುಗಳಲ್ಲಿ ಕೂರಿಸಿ, ನಿಗ್ರಾಹಕದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸುವುದೂ ಉಂಟು. ಇಂಧನವಸ್ತುವು ಯಾವಾಗಲೂ ಘನರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರಬೇಕೆಂಬ ನಿಯಮವೇನಿಲ್ಲ. ಯುರೇನಿಯಂ ಲವಣದ ದ್ರಾವಣ ತಯಾರಿಸಿಕೊಂಡು, ಅದನ್ನು ಲೋಹದ ಸಿಲಿಂಡರಿನೊಳಗೆ ತುಂಬಿ, ನಿಗ್ರಾಹಕ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸುವುದುಂಟು.

(b) ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕ

ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕ ವಸ್ತುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಒಂದೇ ಗುಣಲಕ್ಷಣವುಳ್ಳವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕ ವಸ್ತುಗಳು ಹಗುರಾದ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಾಗಿರಬೇಕಾದುದು ಅಗತ್ಯ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಅವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಬೇಕು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಸೋರಿಹೋಗದಂತೆ ತಡೆಯಬೇಕೇ ವಿನಃ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳಬಾರದು. ಹಾಗಾಗುವುದು ಅವುಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಸಂಖ್ಯೆ ಕಡಿಮೆಯಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯ. ನೀರು, ಭಾರಜಲ, ಬೆರಿಲಿಯಂ, ಮತ್ತು ಅದರ ಆಕ್ಸೈಡು, ಗ್ರಾಫೈಟ್ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್ ಇವು ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕಗಳೆಂದು ಸಿದ್ಧವಾಗಿದೆ.

ನೀರು ಒಂದು ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕ. ಯಾಕೆಂದರೆ, ಅದನ್ನು

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಮಟ್ಟಿಗೆ ಶುದ್ಧೀಕರಿಸುವುರು ಸುಲಭ. ಅದಕ್ಕೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿದೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಅದು ಸಾಕಷ್ಟು ಅಗ್ಗವಾಗಿ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ. ಇನ್ನೊಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರ ವಿಷಯವೆಂದರೆ, ನೀರನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕವಾಗಿ ಬಳಸಿದಾಗ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಇಂಧನದಲ್ಲಿ ಶೇಕಡಾ 1 ರಷ್ಟು ವಿದಳನ ಪಟು ವಸ್ತು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಇದ್ದರೂ ಸಾಕು, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಬಹುದು. ಅಲ್ಲದೆ ನೀರನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವಾಗಿ ಬಳಸಿದರೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗಾತ್ರ ಕೂಡ ಚಿಕ್ಕದಾಗುತ್ತದೆ. ನೀರಿನ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವೆಂದರೆ, ಅದನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕ, ಪ್ರತಿಫಲಕ ಮತ್ತು ತಂಪುಕಾರಿ ಹೀಗೆ ಮೂರು ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ನೀರನ್ನು ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಯಾಕೆಂದರೆ ನೀರು 100 ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಲ್ಸಿಯಸ್ ಉಷ್ಣತೆಗೆ ಕುದಿಯಲಾರಂಭಿಸುತ್ತದೆ. ಅದರ ಕುದಿ ಬಿಂದುವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಒತ್ತಡವನ್ನು ಕೂಡ ಹೆಚ್ಚಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ನೀರು ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ತೃಪ್ತಿಕರವಾಗಿ ಕಾರ್ಯಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ಮೇಲಿನ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಪ್ರತಿ ಅಂಗುಲಕ್ಕೆ 2000 ಪೌಂಡುಗಳವರೆಗೆ ಏರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಸಹ ವೆಚ್ಚದಾಯಕ ಕ್ರಮ.

ಭಾರಜಲ ಒಂದು ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ತಗ್ಗಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಇದಕ್ಕಿದೆ. ಇನ್ನೊಂದು ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವೆಂದರೆ, ಭಾರಜಲವನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ ಇಂಧನದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235 ರ ಪ್ರಮಾಣ ಕಡಿಮೆಯಿದ್ದರೂ, ಸಹ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಸಾದಾ ನೀರಿನಂತೆ, ಭಾರ ಜಲವನ್ನೂ ಸಹ ತಂಪುಕಾರಿಯಂತೆ ಬಳಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಆದರೆ ಭಾರಜಲದ ಕುದಿಯುವ ಬಿಂದು ಕೂಡ ನೀರಿನ ಕುದಿಯುವ ಬಿಂದುವಿನಷ್ಟೇ ಇರುವುದರಿಂದ, ಒತ್ತಡವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವ ಸಮಸ್ಯೆ ಇಲ್ಲಿಯೂ ಬಂದೇ ಬರುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ಭಾರಜಲ ದುಬಾರಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಬೆರಿಲಿಯಂ ಮತ್ತು ಅದರ ಆಕ್ಸೈಡು ಸಹ ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕಗಳು. ಬೆರಿಲಿಯಂ ಆಕ್ಸೈಡು ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣತೆಯನ್ನು ತಡೆದುಕೊಳ್ಳಬಲ್ಲವು.

ಅತ್ಯಾಧುನಿಕ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನವನ್ನು ಬಳಸಿ ಉತ್ತಮ ಗುಣಮಟ್ಟವಿರುವ ಬೆರಿಲಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ತಯಾರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದು ತುಕ್ಕು ಹಿಡಿಯುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಇತರ ನಿಗ್ರಾಹಕ ವಸ್ತುಗಳಿಗಿಂತ ಬೆರಿಲಿಯಂ ಲೋಹ ಹೆಚ್ಚು ದುಬಾರಿ.

ಗ್ರಾಫೈಟ್ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್ ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕ. ಗ್ರಾಫೈಟ್, ಈ ಕಾರ್ಯಕ್ಕೆ ಬೆರಿಲಿಯಂನಷ್ಟು ಉತ್ತಮವಲ್ಲ. ಆದರೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಿರುವಷ್ಟು ಶುದ್ಧವಾದ ಗ್ರಾಫೈಟನ್ನು ಕಡಿಮೆ ವೆಚ್ಚದಲ್ಲಿ ತಯಾರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಹೆಚ್ಚಿನ ಶ್ರಮವಿಲ್ಲದೆ ಗ್ರಾಫೈಟನ್ನು ಬೇಕಾದ ಆಕಾರಕ್ಕೆ ತರಬಹುದು. ಸುಮಾರು 2500 ಡಿಗ್ರಿ ಸೆಲ್ಸಿಯಸ್‌ಗಳವರೆಗೆ ಗ್ರಾಫೈಟ್‌ನ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ (Mechanical strength) ವು ಉಷ್ಣತೆಯೊಡನೆ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅಧಿಕ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯಮಾಡುವ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್‌ಗೆ ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವುಂಟು. ಆದರೆ ಗ್ರಾಫೈಟ್‌ಗೆ ಕೆಲ ದೋಷಗಳೂ ಉಂಟು. ಪೆಟ್ಟು ಬಿದ್ದಾಗ ಅದು ಸುಲಭವಾಗಿ ಒಡೆದು ಚೂರು ಚೂರಾಗುತ್ತದೆ. ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಅದು ಹವೆಯಲ್ಲಿರುವ ಆಕ್ಸಿಜನ್ನಿನೊಡನೆ ವರ್ತಿಸಿ ಕಾರ್ಬನ್‌ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತದೆ. ಇವೆರಡನ್ನು ಹೊರತುಪಡಿಸಿದರೆ, ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಒಂದು ಉತ್ತಮ ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕ. ಅನೇಕ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಇದನ್ನು ಬಳಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ.

ಕೆಲ ಸಾವಯುವ ಸಂಯುಕ್ತ (organic compounds) ಗಳನ್ನು ಸಹ ನಿಗ್ರಾಹಕ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಫಲಕಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ.

(c) ತಂಪುಕಾರಿ (coolant)

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ನಾಲ್ಕು ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿಂಗಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ನೀರು, ಭಾರಜಲ, ಲೋಹದ್ರವಗಳು, ಸಾವಯವ ದ್ರವಗಳು ಮತ್ತು ಅನಿಲಗಳು. ಪ್ರತಿಯೊಂದು ಬಗೆಯ ತಂಪುಕಾರಿಗೂ ಅದರದೇ ಆದ ಅನುಕೂಲ ಮತ್ತು ಅನಾನುಕೂಲಗಳಿವೆ.

ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ (Thermal Reactors) ನೀರು ಮತ್ತು ಭಾರಜಲ ಉತ್ತಮ ತಂಪುಕಾರಿಗಳಾಗಿ ಕಾರ್ಯವೆಸಗಬಲ್ಲವು. ತಂಪುಕಾರಿಯ ಮುಖ್ಯ ಕಾರ್ಯ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಾಖವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡು, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಿಂದ ಹೊರ ತಂದು, ಮತ್ತೊಂದು ದ್ರವಕ್ಕೆ ವರ್ಗಾಯಿಸುವುದು. ನಂತರದ ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ಶಾಖವನ್ನು ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ನೀರಿನ ಕುದಿಯುವ ಬಿಂದು ಕಡಿಮೆಯಿರುವುದರಿಂದ, ಲೋಹದ ದ್ರವಗಳನ್ನು ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಸೋಡಿಯಂ ದ್ರವ ಉತ್ತಮ ತಂಪುಕಾರಿಯೆಂದು ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗಿದ್ದರೆ, ಒತ್ತಡವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಸೋಡಿಯಂ ದ್ರವವನ್ನು ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸಿದರೆ, ಅಧಿಕ ಉಷ್ಣತೆಯಿದ್ದರೂ, ಒತ್ತಡವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವ ಅಗತ್ಯವಿಲ್ಲ. ಸೋಡಿಯಂ ದ್ರವದಿಂದ ಅನಾನುಕೂಲತೆಗಳೂ ಉಂಟು. ಒಂದನೆಯದಾಗಿ ಇದು ಝಿರ್ಕೋನಿಯಂ ಮಿಶ್ರಲೋಹ ಹಾಗೂ ಸ್ಟೇನ್‌ಲೆಸ್ ಸ್ಟೀಲಿನ ಕೊಳವೆಗಳಿಗೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ತುಕ್ಕು ಹಿಡಿಸುತ್ತದೆ. ಎರಡನೆಯದಾಗಿ ಹವೆಯಲ್ಲಿರುವ ಆಕ್ಸಿಜನ್ ಮತ್ತು ನೀರಿನೊಡನೆ ತೀವ್ರವಾಗಿ ವರ್ತಿಸಿ ಸೋಡಿಯಂ ದ್ರವವು ಸಾಕಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲೂ ಘನರೂಪವನ್ನು ತಾಳುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದು ಬರುವಾಗ ಸೋಡಿಯಂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡು ವಿಕಿರಣಪಟು ಗುಣವನ್ನು ಪಡೆಯುತ್ತದೆ. 15 ಗಂಟೆ ಅರ್ಧಾಯು ವಿರುವ ರೇಡಿಯೋ ಸೋಡಿಯಂ, ಬೀಟಾ ಮತ್ತು ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಕಿರಣಗಳು ಮಾನವನಿಗೆ ಅಪಾಯಕಾರಿ. ಆದ್ದರಿಂದ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗೆ ಸುಭದ್ರವಾದ ಕಾಂಕ್ರೀಟಿನ ಕವಚವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಹೆಚ್ಚು ಒತ್ತಡವನ್ನುಂಟು ಮಾಡಬೇಕಾದ ಅವಶ್ಯಕತೆಯಿರುವ ನೀರು ಅಥವಾ ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಾಗಿರುವ ದ್ರವ ಸೋಡಿಯಂಗಳ ಬದಲಾಗಿ ಪಾಲಿಫಿನೈಲ್ಸ್ ಎಂಬ ಸಾವಯವ ಸಂಯುಕ್ತಗಳನ್ನು ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸಲು ಪ್ರಯತ್ನ ನಡೆಸಿದರು. ಈ ಸಾವಯವ

ಸಂಯುಕ್ತಗಳು ತುಕ್ಕು ಹಿಡಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದುಬಂದರೂ ಅಪಾಯಕಾರಿಯಾಗುವಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಪಟುತ್ವ ಗುಣವನ್ನೂ ಪಡೆಯುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಿಂದ ಶಾಖವನ್ನು ಹೊರತೆಗೆಯುವಲ್ಲಿ ಸಾವಯವ ಸಂಯುಕ್ತಗಳು, ನೀರು ಅಥವಾ ದ್ರವ ಸೋಡಿಯಂನಷ್ಟು ದಕ್ಷವಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ.

ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಅನಿಲವನ್ನು ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸಿದರು. ಇದರಲ್ಲಿ ಫ್ಯಾನುಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ಹವೆಯನ್ನು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಒಳಗೆ ದೂಡುತ್ತಾರೆ. ಅದು ಶಾಖವನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡ ಬಳಿಕ ಪುನಃ ವಾತಾವರಣದೊಳಗೆ ಬಿಟ್ಟುಬಿಡುತ್ತಾರೆ. ಸಂಶೋಧನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಾಖವನ್ನು ಶಕ್ತಿಯುತ್ಪಾದನೆಗೆ ಬಳಸುವುದಿಲ್ಲವಾದ್ದರಿಂದ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಹವೆ ಸೂಕ್ತ ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಬಲ್ಲದು. ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಅನಿಲವನ್ನು ಇಂಗ್ಲೆಂಡ್ ಮತ್ತು ಫ್ರಾನ್ಸಿನಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಅನೇಕ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗಿದೆ. ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಅನಿಲವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವ ಪ್ರಮಾಣ ತೀರ ಕಡಿಮೆ. ತಕ್ಕಮಟ್ಟಿಗಿನ ಉಷ್ಣತೆಯವರೆಗೆ ಅದು ಲೋಹಗಳೊಡನೆ ತೀವ್ರವಾಗಿ ವರ್ತಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ನಿಗ್ರಾಹಕವಾಗಿರುವ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಅನಿಲವನ್ನು ಬಳಸುವುದು ಕಷ್ಟ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈಆಕ್ಸೈಡ್ ಅನಿಲವು ಗ್ರಾಫೈಟ್‌ನೊಡನೆ ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಇದೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆ. ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಅನಿಲವು ನೀರನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಇತರ ತಂಪುಕಾರಿಗಳಿಗಿಂತ ಅಗ್ಗವಾಗಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಅನಿಲವನ್ನು ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಬಳಸದ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ತಂಪುಕಾರಿಯಾಗಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ.

(d) ನಿಯಂತ್ರಕ ವಸ್ತುಗಳು

ಮಂದಗಾಮಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಕದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಇನ್ನೊಂದು ಮಹತ್ವದ ಅಂಶವೆಂದರೆ, ಹೀಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನನ್ನು ಹೀರಿಕೊಂಡ

ವಸ್ತುವು ವಿಕಿರಣಪಟು ವಸ್ತುವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳಕೂಡದು. ಒಂದು ವೇಳೆ ನಿಯಂತ್ರಕ ವಸ್ತುವು ವಿಕಿರಣ ಪಟುವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದರೆ, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ನಿರ್ವಹಣೆ ಕಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ ಹೆಚ್ಚಾನೆಚ್ಚು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಅದನ್ನೇ ನಿಯಂತ್ರಕವಾಗಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಅದು ಹೇರಳವಾಗಿ ಲಭ್ಯವಿರುವುದರೊಂದಿಗೆ ಅದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ರೂಪವನ್ನು ಕೊಡುವುದೂ ಸಹ ಸುಲಭ. ಆದರೆ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ನ ಒಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯೆಂದರೆ, ಅದು ಕಡಿಮೆ ಉಷ್ಣತೆಗೇ ಕರಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಕಡಿಮೆ ಉಷ್ಣತೆಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯಮಾಡುವ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ನೀರನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವಾಗಿ ಬಳಸಿದ ಮತ್ತು ಅಧಿಕ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಸಾಂದ್ರತೆಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳ್ಳಿ, ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಮತ್ತು ಇಂಡಿಯಂಗಳಿಂದ ತಯಾರಿಸಿದ ಮಿಶ್ರಲೋಹವನ್ನು ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಶೇಕಡಾ 5 ರಷ್ಟು ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ, 15 ರಷ್ಟು ಇಂಡಿಯಂ ಉಳಿದ 80 ರಷ್ಟು ಬೆಳ್ಳಿಯಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಮಿಶ್ರಲೋಹದ ಕರಗುವ ಬಿಂದು, ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂನ ಕರಗುವ ಬಿಂದುವಿಗಿಂತ ಸಾಕಷ್ಟು ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲದೆ ವಿವಿಧ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಅಧಿಕಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಇದಕ್ಕಿದೆ. ಹಾಫ್ನಿಯಂ ಲೋಹವನ್ನು ಕೂಡ ನಿಯಂತ್ರಕವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಇದು ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂಗಿಂತ ದುಬಾರಿ.

ನಿಯಂತ್ರಕವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗುವ ಇನ್ನೊಂದು ವಸ್ತುವೆಂದರೆ ಬೋರಾನ್. ಇದೂ ಸಹ ವಿವಿಧ ಶಕ್ತಿಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೀರಿಕೊಳ್ಳಬಲ್ಲದು. ಅಲ್ಲದೆ ಇದರ ಕರಗುವ ಬಿಂದು ಕೂಡ ತೀರ ಹೆಚ್ಚು. ಬೋರಾನನ್ನು ನೇರವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸದೆ, ಅದನ್ನು ಸ್ಟೇನ್‌ಲೆಸ್ ಸ್ಟೀಲಿನೊಂದಿಗೆ ಸೇರಿಸಿ ಮಿಶ್ರಲೋಹವನ್ನು ತಯಾರಿಸಿ, ನಿಯಂತ್ರಿಕವಾಗಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಈ ಮಿಶ್ರಲೋಹವನ್ನು ಬೋರೊಸ್ಟೀಲ್ ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ.

(e) ರಕ್ಷಣಾ ಕವಚ (Shielding)

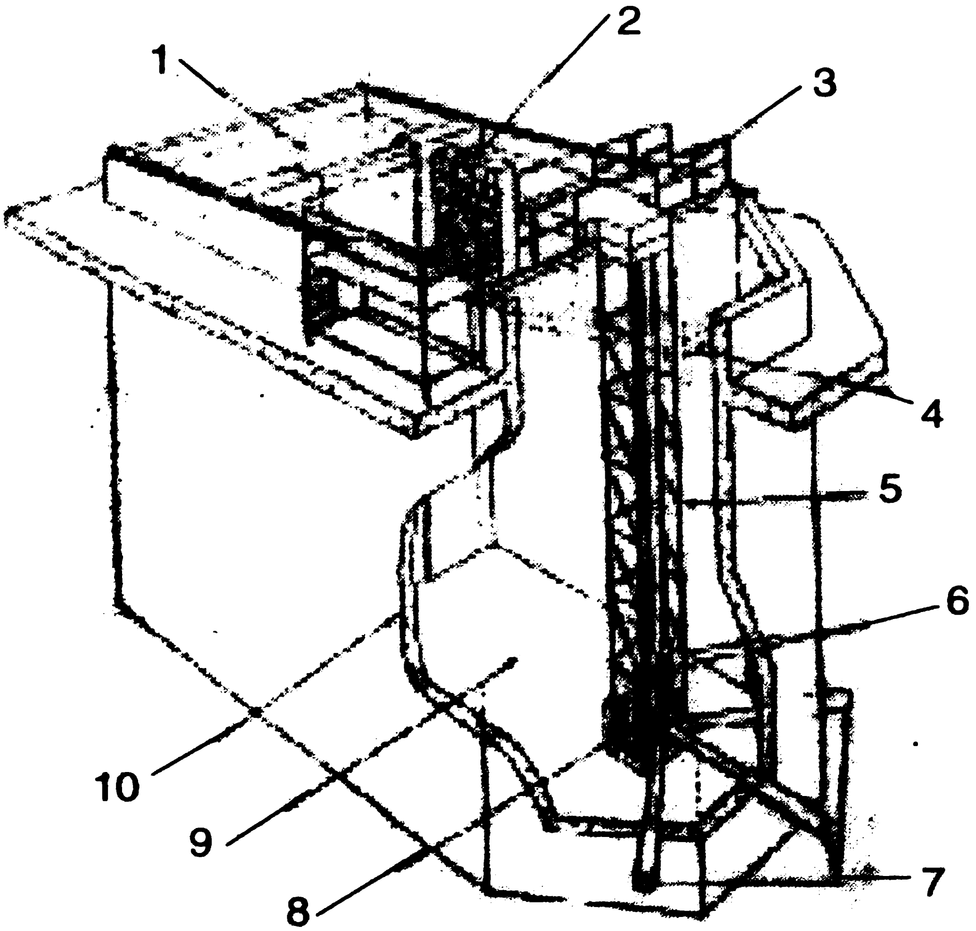
ಇದು ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯನ್ನು ರಕ್ಷಿಸುವ ಕವಚವಲ್ಲ ; ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗೆ ಕವಚತೊಡಿಸಿ ಅದರಿಂದ ಅಲ್ಲಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುವವರನ್ನು ರಕ್ಷಿಸುವುದು. ರಕ್ಷಣಾ ಕವಚ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಕಾರ್ಯ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಬೀರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಪಾಯಕಾರಿ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ತಡೆಯಲು ರಕ್ಷಣಾ ಕವಚ ಅಗತ್ಯ. ಕವಚಗಳಲ್ಲೂ ಎರಡು ವಿಧ. ಒಂದು ಔಷ್ಣಿಕ ಕವಚ (Thermal Shield) ಇನ್ನೊಂದು ಜೈವಿಕ ಕವಚ (Biological Shield) ಔಷ್ಣಿಕ ಕವಚವು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗರ್ಭಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡೇ ಇದ್ದು ಅದನ್ನು ಸುಮಾರು 15ರಿಂದ 20 ಸೆಂಟಿಮೀಟರ್ ದಪ್ಪನಾದ ಉಕ್ಕಿನ ಫಲಕದಿಂದ ತಯಾರಿಸಲಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕವಚವು ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಎಲ್ಲ ಗಾಮಾಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಶಾಖದಿಂಧ ಜೈವಿಕ ಕವಚವನ್ನು ರಕ್ಷಿಸುತ್ತದೆ. ಯಾಕೆಂದರೆ ಔಷ್ಣಿಕ ಕವಚವು ತಂತಾನೆ ತಂಪಾಗುವಂತಹ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಅದನ್ನು ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಜೈವಿಕ ಕವಚವು ಅನೇಕ ಅಡಿ ದಪ್ಪನಾದ ಕಾಂಕ್ರೀಟು ಗೋಡೆಯಾಗಿದ್ದು, ಅದು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಗರ್ಭ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿ ಫಲಕವನ್ನು ಸುತ್ತುವರಿದಿರುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಸಹ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ಗಾಮಾಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೀರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಧರಿಸಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳನ್ನು ಮೂರು ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿಂಗಡಿಸಿದಂತೆ, ಅವುಗಳ ಉದ್ದೇಶಗಳಿಗನುಗುಣವಾಗಿಯೂ ಅವನ್ನು ಶಕ್ತಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ, ಸಂಶೋಧನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ, ಉತ್ಪಾದನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳೆಂದು ಮೂರು ಭಾಗಗಳಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಶಕ್ತಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಬಗ್ಗೆ ಈ ಅಧ್ಯಾಯದ ಆರಂಭದಲ್ಲಿಯೇ ತಿಳಿದು ಕೊಂಡಿದ್ದೇವೆ. ಈಗ ಸಂಶೋಧನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಮತ್ತು ಉತ್ಪಾದನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಬಗ್ಗೆ ವಿವೇಚಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಸಂಶೋಧನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Research Reactor)

ಷಿಕಾಗೋದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಪ್ರಥಮ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ಸಂಶೋಧನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯೇ. ಅದರಲ್ಲಿ ನೈಸರ್ಗಿಕ ಯುರೇನಿಯಂ ಲೋಹವೇ ಇಂಧನವಾಗಿದ್ದು, ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟನ್ನು ನಿಗ್ರಾಹಕವಾಗಿ ಬಳಸಲಾಗಿತ್ತು. ದ್ವಿತೀಯ ಜಾಗತಿಕ ಯುದ್ಧದ ಸಮಯದಲ್ಲಿಯೇ, ಅಮೇರಿಕೆಯ ಲಾಸ್ ಆಲ್ಮಾಸೊ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಇನ್ನೊಂದು ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿತ್ತು. ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಉದ್ದೇಶ ಇಂಧನದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ-235ರ ಪ್ರಮಾಣ ಅಧಿಕವಿದ್ದಾಗ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮ ವುಂಟಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುವುದಾಗಿತ್ತು. ಇದರಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು ಎರಡು ಪೌಂಡುಗಳಷ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಲೋಹವನ್ನು 14 ಲೀಟರು ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಕರಗಿಸಿ ತಯಾರಿಸಿದ ದ್ರಾವಣವನ್ನು, ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ಇಂಧನ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಳಸಲಾಗಿತ್ತು. ದ್ರಾವಣವನ್ನು ಸ್ಟೇನ್‌ಲೆಸ್ ಸ್ಟೀಲ್ ಸಿಲಿಂಡರಿನಲ್ಲಿ ತುಂಬಲಾಗಿ[illegible] ಸಿಲಿಂಡರಿನ ಸುತ್ತಲೂ 4 1/2 ಅಡಿ ದಪ್ಪನಾದ ಗ್ರ್ಯಾಫೈಟ್ ಪ್ರತಿ ಫಲಕವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗಿತ್ತು.

ಇನ್ನೊಂದು ವಿಧವಾದ ಸಂಶೋಧನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯೆಂದರೆ, ಈಜುಕೊಳ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Swimming Pool Reactor) ಇದರಲ್ಲಿ ಶೇಕಡಾ 20 ರಿಂದ 90ರಷ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಇರುವ ಇಂಧನವನ್ನು ಬಳಸಿದ್ದರು. ಇಂಧನವನ್ನು ಫಲಕಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಫಲಕಗಳ ಮಧ್ಯೆ ಒಂದಾದ ನಂತರ ಒಂದರಂತೆ ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಆತಂರಿಕ ರಚನೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 8.3ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಇಂಧನವಿರುವ ಗರ್ಭವನ್ನು ಒಂದು ಚಲಿಸುವ ಸೇತುವೆಗೆ ನೇತುಹಾಕಲಾಗಿದ್ದು, ಅದು ನೀರಿನೊಳಗೆ 20 ಅಡಿ ಆಳದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದಲೇ ಇದಕ್ಕೆ ''ಈಜುಕೊಳ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ''ಯೆಂದು ಹೆಸರು ಬಂದಿದೆ. ಇದು ತೃಪ್ತಿಕರವಾಗಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಸುಮಾರು 2ರಿಂದ 3ಕಿಲೋಗ್ರಾಂಗಳಷ್ಟು ಯುರೇನಿಯಂ-235 ಇಂಧನ ಬೇಕು. ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ನೀರು ನಿಗ್ರಾಹಕ, ಪ್ರತಿಫಲಕ, ಕವಚ ಹಾಗೂ ತಂಪುಕಾರಿ ಈ ನಾಲ್ಕು ಪಾತ್ರಗಳನ್ನು



ಚಿತ್ರ 8.3 ಈಜುಕೊಳ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ

1. ಸಂಗ್ರಾಹಕ ತೊಟ್ಟಿ
2. ನಿಯಂತ್ರಕ ಪ್ಯಾನೆಲ್
3. ಚಲಿಸುವ ಸೇತು
4. ನೀರಿನ ಮಟ್ಟ
5. ಗರ್ಭದ ಆಧಾರ
6. ನಿಯಂತ್ರಕ ಸರಳು
7. ರಂಧ್ರಗಳು
8. ಗರ್ಭ
9. ನೀರು
10. ಕಾಂಕ್ರೀಟ್ ತೊಟ್ಟಿ

ನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಇಂಧನ ಗರ್ಭವನ್ನು ಸೇತುವೆಯ ಸಹಾಯದಿಂದ ವಿವಿಧ ಸ್ಥಳಗಳಿಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಹೋಗಲು ಸಾಧ್ಯವಿರುವುದರಿಂದ, ಕೊಳದ ವಿವಿಧ ಬಿಂದುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿ ನೋಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಇದೊಂದು ಮಹತ್ವದ ಅಂಶ. ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಎರಡು ಅಂಶಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದನೆಯದಾಗಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಿಂದ ಎಷ್ಟು ವೇಗವಾಗಿ ಶಾಖವನ್ನು ಹೊರ ತೆಗೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿರುತ್ತದೆಂಬುದು. ಎರಡನೆಯದಾಗಿ ನೀರಿನಲ್ಲಿರುವ ಆಕ್ಸಿಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳೊಂದಿಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ವರ್ತಿಸಿ ಉಂಟು ಮಾಡಿದ ನೈಟ್ರೋಜನ್- 16 ರ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವ. ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾದ ಈಜುಕೊಳ ಮಾದರಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಶಾಖ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ 100 ಕಿಲೋವ್ಯಾಟ್‌ಗಳಾಗಿತ್ತು. ನಂತರ ಅದನ್ನು 1 ಮೆಗಾವ್ಯಾಟ್‌ಗೆ ಏರಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಮಾದರಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯನ್ನು ಅಮೇರಿಕದ ಓಕ್‌ರಿಜ್ ರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು.

ಉತ್ಪಾದನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Breeder Reactor)

ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯು ಕಾರ್ಯಪ್ರವೃತ್ತವಾಗಿದ್ದಾಗ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನುಂಟುಮಾಡಿದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಹೊರತುಪಡಿಸಿ, ಹೆಚ್ಚಿಗೆ ಉಳಿದುಕೊಂಡ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು, ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿ ಬಳಕೆಯಾದುದಕ್ಕಿಂತ ಅಧಿಕ ವಿದಳನಪಟು ವಸ್ತುವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ ಈ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಗೆ ಉತ್ಪಾದನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳೆಂದು ಹೆಸರು ಬಂದಿದೆ.

ಉದಾಹರಣೆ : U^{233}, U^{235}, Pu^{239} ಮತ್ತು Pu^{241}

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದನ್ನೇ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯ ಇಂಧನವಾಗಿ ಬಳಸಿದರೂ, ಅದು ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆ ಸ್ವಯಂಪೋಷಿತವಾಗಿ ನಡೆದುಕೊಂಡು ಹೋಗಲು ಅಗತ್ಯವಿರುವುದಕ್ಕಿಂತಲೂ ಅಧಿಕ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು U^{238} ಅಥವಾ Th^{232} ಪರಮಾಣುಗಳು ಹೀರಿಕೊಂಡು

ವಿದಳನಪಟು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಾದ Pu^{239} ಮತ್ತು U^{233} ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುತ್ತವೆ. ಅದಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

$$_0n^1 + {}_{92}U^{238} \rightarrow {}_{92}U^{239} + \gamma$$

$$_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^0 + \nu + \gamma$$

$$_{93}Np^{239} \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^0 + \nu + \gamma$$

ಇಲ್ಲಿ ν - ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋವನ್ನೂ, γ - ಗಾಮಾಕಿರಣವನ್ನೂ ಸೂಚಿಸುತ್ತವೆ.

ಅದೇ ರೀತಿ,

$$_0n^1 + {}_{90}Th^{232} \rightarrow {}_{90}Th^{233} + \gamma$$

$$_{90}Th^{233} \rightarrow {}_{91}Pa^{233} + {}_{-1}e^0 + \nu + \gamma$$

$$_{91}Pa^{233} \rightarrow {}_{92}U^{233} + {}_{-1}e^0 + \nu + \gamma$$

ಭೂಕವಚದಲ್ಲಿ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಥೋರಿಯಂನ ನಿಕ್ಷೇಪವಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದನ್ನುಪಯೋಗಿಸಿ ಉತ್ಪಾದನಾ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಿಂದ ವಿದಳನಪಟು ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ, ಅವನ್ನು ಶಕ್ತಿ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಧನವಾಗಿ ಬಳಸುತ್ತಾರೆ.

9. ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು

ನೈಸರ್ಗಿಕ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವಿರುವ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಹೊರತು ಪಡಿಸಿ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಉಳಿದೆಲ್ಲ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಸುಭದ್ರ ಅಥವಾ ಸ್ಥಿರ (Stable) ವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ರೂಪುಗೊಂಡ ಹೊಸ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದವು. ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು 1934 ರಲ್ಲಿ ಫ್ರಾನ್ಸಿನ ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಜ್ಯುಲಿಯೋ ದಂಪತಿಗಳು ಆವಿಷ್ಕರಿಸಿದರು. ಹೀಗೆ ಒಂದೇ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಕೆಲ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಸ್ಥಿರವಾಗಿಯೂ ಇನ್ನು ಕೆಲ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ಅಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ವಿಕಿರಣಪಟು ಗುಣವುಳ್ಳವೂ ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ವಿಕಿರಣಪಟು ಗುಣವುಳ್ಳ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು, ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಅಥವಾ ರೇಡಿಯೋ ಐಸೋಟೋಪುಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ.

ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವದ ಆವಿಷ್ಕಾರದ ತರುವಾಯ ಫರ್ಮಿ ಮತ್ತು ಇತರ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಜಗತ್ತಿನಾದ್ಯಂತ ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ, ಅನೇಕ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳನ್ನು ವಿವಿಧ ಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿ ಹೊಸ ಹೊಸ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿದರು. (ಈ ಕುರಿತು 3ನೆಯ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ವಿವರಿಸಿದೆ.) ಹಾಗೆ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವ ಕೆಲ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಇಲ್ಲಿ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

(a) ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಿಂದ ತಾಡಿಸಿದಾಗ ಕೆಲ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ವಿಕಿರಣಪಟುವಾಗಿ, ಪೊಸಿಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವುದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು

(α -n) ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ.

(i) $_{11}Na^{23} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{13}Al^{26} + {}_{0}n^{1}$

$_{13}Al^{26}$ ವಿಕಿರಣಪಟುವಾದ್ದರಿಂದ, ಅದು ಪೊಸಿಟ್ರಾನನ್ನು ($_{+1}e^{0}$) ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ ಸ್ಥಿರವಾದ ಮೆಗ್ನೀಶಿಯಂ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

$_{13}Al^{26} \rightarrow {}_{12}Mg^{26} + {}_{+1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 6.5 ಸೆಕೆಂಡ್‌ಗಳು

(ii) $_{9}F^{19} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{11}Na^{22} + {}_{0}n^{1}$

$_{11}Na^{22} \rightarrow {}_{10}Ne^{22} + {}_{+1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 2.6 ವರ್ಷಗಳು

(iii) $_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{9}F^{17} + {}_{0}n^{1}$

$_{9}F^{17} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{+1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 1. 1 ನಿಮಿಷ

(b) ಕೆಲ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಆಲ್ಫಾಕಣದಿಂದ ತಾಡಿಸುವುದರಿಂದ ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಾಗ ಪ್ರೋಟಾನು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು (α -p) ಕ್ರಿಯೆಯೆಂದೆನ್ನುತ್ತಾರೆ.

$_{5}B^{11} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{6}C^{14} + {}_{1}H^{1}$

ವಿಕಿರಣಪಟು $_{6}C^{14}$ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ $_{7}N^{14}$ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

$_{6}C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 5568 ವರ್ಷಗಳು

(c) ಪ್ರೋಟಾನ್‌ನಿಂದ ತಾಡಿಸುವುದರಿಂದ ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಾಗ ಅಲ್ಫಾಕಣ ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು (p - α) ಕ್ರಿಯೆಯೆಂದು ಹೇಳುತ್ತಾರೆ.

$_5B^{11} + {_1H^1} \rightarrow ({_6C^{12}}) \rightarrow {_4Be^8} + {_2He^4}$

$_4Be^8$ ವಿಕಿರಣಪಟುವಾದರೂ ಅದರ ಅರ್ಧಾಯು ತೀರ ಕಡಿಮೆ. ಅದು 2×10^{-14} ಸೆಕೆಂಡುಗಳು. ಅಷ್ಟರೊಳಗಾಗಿ ಅದು ಎರಡು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಾಗಿ ವಿಘಟನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

(d) ಡ್ಯುಟೆರಾನಿನಿಂದ ತಾಡಿಸಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಹಾಗೆ ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳು ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವಾಗ, ಪ್ರೋಟಾನು, ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಮತ್ತು α ಕಣಗಳು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳಿರುತ್ತದೆ. ಆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ (d-p), (d-n) ಮತ್ತು (d-α) ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಒಂದೊಂದು ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಒಂದೊಂದು ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನಿಲ್ಲಿ ಕೊಡಲಾಗಿದೆ.

$_6C^{12} + {_1H^2} \rightarrow ({_7N^{14}}) \rightarrow {_6C^{13}} + {_1H^1}$

$_6C^{12} + {_1H^2} \rightarrow ({_7N^{14}}) \rightarrow {_7N^{13}} + {_0n^1}$

$_7N^{14}$ ವಿಕಿರಣಪಟುವಾದ್ದರಿಂದ ಪೊಸಿಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ $_6C^{13}$ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

$_7N^{13} \rightarrow {_6C^{13}} + {_1e^0}$

$_{11}Na^{23} + {_1H^2} \rightarrow ({_{12}Mg^{25}}) \rightarrow {_{12}Mg^{24}} + {_0n^1}$

$_{11}Na^{23} + {_1H^2} \rightarrow ({_{12}Mg^{25}}) \rightarrow {_{12}Na^{24}} + {_1H^1}$

ವಿಕಿರಣಪಟುವಾದ $_{11}Na^{24}$ ಬೀಟಾಕಣವನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸಿ $_{12}Mg^{24}$ ಸ್ಥಿರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

$_{11}Na^{24} \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 15.0 ಗಂಟೆಗಳು

(e) ನ್ಯೂಟ್ರಾನಿನಿಂದ ತಾಡಿಸಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಅಲ್ಫಾಕಣ, ಪ್ರೋಟಾನು ಬಿಡುಗಡೆಯಾಗುತ್ತವೆ. ಆ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ (n - α) (n-p) ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ.

$$_{11}Na^{23} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{11}Na^{24}) \rightarrow {}_{9}F^{20} + {}_{2}He^{4}$$

ವಿಕಿರಣಪಟು $_{9}F^{20} \rightarrow {}_{10}Ne^{20} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 10.7 ಸೆಕೆಂಡುಗಳು

$$_{13}Al^{27} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{13}Al^{28}) \rightarrow {}_{11}Na^{24} + {}_{2}He^{4}$$

ವಿಕಿರಣಪಟು $_{11}Na^{24} \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು= 15.0ಗಂಟೆಗಳು

$$_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{7}N^{15}) \rightarrow {}_{6}C^{14} + {}_{1}H^{1}$$

ವಿಕಿರಣಪಟು $_{6}C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು = 5568 ವರ್ಷಗಳು

$$_{16}S^{32} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{16}S^{33}) \rightarrow {}_{15}P^{32} + {}_{1}H^{1}$$

ವಿಕಿರಣಪಟು $_{15}P^{32} \rightarrow {}_{16}S^{32} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು= 14.22ದಿನಗಳು

$$_{29}Cu^{65} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{29}Cu^{66}) \rightarrow {}_{28}Ni^{65} + {}_{1}H^{1}$$

ವಿಕಿರಣಪಟು $_{28}Ni^{65} \rightarrow {}_{29}Cu^{65} + {}_{-1}e^{0}$ ಅರ್ಧಾಯು= 2.56ಗಂಟೆಗಳು

ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು, ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ತಯಾರಿಸುತ್ತಾರೆ. ಆಲ್ಫಾಕಣ, ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ಡ್ಯುಟೆರಾನುಗಳನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳಿಂದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಗೊಳಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆ ಮಾಡಿದಾಗ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಶಕ್ತಿಶಾಲಿ ಕಣಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸುಗಳನ್ನು ತಾಡಿಸಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ದೊರಕಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಉಪಯೋಗ

ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ನಮ್ಮ ನಿತ್ಯಜೀವನದ ವಿವಿಧರಂಗಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ. ಕೃತಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟೋ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಅವುಗಳ ಪೈಕಿ ನಿತ್ಯಜೀವನದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಬರುವಂತಹವು ಕೆಲವು ಮಾತ್ರ. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಅಯೋಡಿನ್, ವಿಕಿರಣಪಟು ಸೋಡಿಯಂ, ವಿಕಿರಣಪಟು ಫಾಸ್ಫರಸ್, ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಲ್ಫರ್ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಪಟು ಕಾರ್ಬನ್ ಪ್ರಮುಖವಾದವುಗಳು.

ಪಥದರ್ಶಕಗಳಾಗಿ (Tracers)

ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಬೀಟಾಕಣ (ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನು) ಗಳನ್ನು ತಮ್ಮ ಅರ್ಧಾಯುವಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ವೇಗದಿಂದ ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲದೆ ಅವು ಎಷ್ಟು ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತವೆಂಬುದು ಆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕಣಗಳು ಶಕ್ತಿಶಾಲಿಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅಂತಃಕ್ರಮಣ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ (Penetrating Power) ಅವುಗಳ ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣ. ಈ ಕಣಗಳು ಕಣ್ಣಿಗೆ ಕಾಣುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ಸೂಕ್ತ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಸಹ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ . ಆ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ದಿಷ್ಟಕ (Detector) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಗೈಗರ್ ಗಣಕ, ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕ (Scintillation counter) ಮೇಘ ಮಂದಿರ (Cloud Chamber) ಮುಂತಾದವು ಪ್ರಮುಖ

ದಿಷ್ಟಕಗಳು. ಈ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಅಲ್ಫಾಕಣಗಳಂತಹ ವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟ ಕಣಗಳು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದರೆ, ಅವು ಸ್ಪಂದಿಸುತ್ತವೆ. ಗೈಗರ್ ಗಣಕ, ಎಷ್ಟು ಕಣಗಳು ಅದನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದುವೆಂಬುದನ್ನು ಎಣಿಕೆ ಮಾಡಬಲ್ಲದು.

ನಮ್ಮ ರಕ್ತನಾಳದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಿರುವ ದ್ರಾವಣವನ್ನು ಇಂಜೆಕ್ಷನ್ ಮೂಲಕ ಸೇರಿಸಲಾಗಿದೆಯೆಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಅದು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುವ ಕಣಗಳು ಮಾಂಸ ಮತ್ತು ಚರ್ಮದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ದೇಹದ ಹೊರಗೆ ಬರುತ್ತವೆ. ಅದನ್ನು ಸೇರಿಸಿದ ಜಾಗೆಯಲ್ಲಿ ದೇಹದ ಮೇಲೆ ಗೈಗರ್ ಗಣಕವನ್ನಿಟ್ಟರೆ, ಅದು ಟಿಕ್ ಟಿಕ್ ಸದ್ದು ಮಾಡುತ್ತ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಪ್ರವೇಶಿಸಲಾರಂಭಿಸಿವೆಯೆಂಬುದನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ರಕ್ತನಾಳದಲ್ಲಿ ಸೇರಿದ ವಿಕಿರಣಪಟು ದ್ರಾವಣವು ರಕ್ತನಾಳದವರೆಗೆ ರಕ್ತದೊಡನೆ ಚಲಿಸುವುದು ಸಹಜವಷ್ಟೆ. ರಕ್ತನಾಳದವರೆಗೆ ದೇಹದ ಮೇಲೆ ಗೈಗರ್ ಗಣಕವನ್ನು ಸರಿಸುತ್ತ ಹೋದರೆ ಅದು ದೇಹವನ್ನು ತೂರಿ ಬರುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸುತ್ತದೆ. ಒಂದು ವೇಳೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಗೈಗರ್ ಗಣಕವು ಯಾವ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನೂ ತೋರಿಸದಿದ್ದರೆ, ಆ ಭಾಗದಿಂದ ಕಣಗಳು ಹೊರಬರುತ್ತಿಲ್ಲವೆಂದರ್ಥ. ಅಥವಾ ಅಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಮಾತ್ರ ರಕ್ತನಾಳದಲ್ಲಿ ರಕ್ತವು ಸರಾಗವಾಗಿ ಚಲಿಸಿದೆ, ಮುಂದೆ ರಕ್ತದ ಚಲನೆ ನಿಂತು ಹೋಗಿದೆಯೆಂದರ್ಥ. ಅಂದರೆ ಆ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ರಕ್ತದ ಚಲನೆಗೆ ಏನಾದರೂ ಅಡೆತಡೆಯಿರಬೇಕು. ಹೀಗೆ ಈ ವಿದ್ಯಮಾನದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಯು ತನ್ನ ಪಥವನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಅಥವಾ ಅದು ಪಥದರ್ಶಕವಾಗಿ ಕಾರ್ಯಮಾಡುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ತಂತ್ರವನ್ನು ಪಥದರ್ಶಕ ತಂತ್ರ (Tracer Technique) ವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ.

ವೈದ್ಯಕೀಯ ರಂಗದಲ್ಲಿ

ಮಾನವ ದೇಹದಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ ರೋಗಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾಗುವ ಗಡ್ಡೆಗಳೇನಾದರೂ ಇದ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಪಥದರ್ಶಕ ತಂತ್ರದಿಂದ ಖಚಿತವಾಗಿ ಗುರುತಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ರೇಡಿಯಂನಿಂದ ಉತ್ಸರ್ಜಿತವಾಗುವ

ವಿಕಿರಣವು ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ ಗಡ್ಡೆಯನ್ನು ನಾಶಪಡಿಸಬಲ್ಲದು. ಥೈರಾಯಿಡ್ ಗ್ರಂಥಿಗಳು ಅಗತ್ಯಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಾಗಿದ್ದರೆ, ವಿಕಿರಣಪಟು ಅಯೋಡಿನ್‌ನಿಂದ ಅದನ್ನು ಗುಣಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ ವ್ಯಾಧಿಯನ್ನು ಗುಣಪಡಿಸಲು ವಿಕಿರಣಪಟು ಕೊಬಾಲ್ಟ್ (C^{60}) ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಪಟು ಚಿನ್ನವನ್ನು ಸಹ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣಪಟು ಫಾಸ್ಫರಸ್‌ನ್ನು ಚರ್ಮ ರೋಗಗಳಿಗೆ ಚಿಕಿತ್ಸೆ ನೀಡಲು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ. ಗಾಮಾ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಶಸ್ತ್ರಚಿಕಿತ್ಸೆಗಾಗಿ ಬಳಸುವ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಸೋಂಕುರಹಿತಗೊಳಿಸಲು (Sterilize) ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ.

ಕೃಷಿ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ

ಅಧಿಕ ಇಳುವರಿ ಪಡೆಯಲು ರಸಗೊಬ್ಬರ ಹಾಕುವುದು ನಮಗೆಲ್ಲ ಗೊತ್ತು. ಆದರೆ ಯಾವ ಬೆಳೆಗೆ ಮತ್ತು ಯಾವ ಮಣ್ಣಿಗೆ ಎಂತಹ ರಸಗೊಬ್ಬರವನ್ನು ಬಳಸಿದರೆ ಹೆಚ್ಚು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ವಿಕಿರಣಪಟು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಜೋಳದ ಕಾಳುಗಳನ್ನು ಬಿತ್ತಲಾಗಿದೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯೋಣ. ಅದಕ್ಕೆ ಗೊಬ್ಬರ ಹಾಕುವಾಗ, ಗೊಬ್ಬರದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಫಾಸ್ಫರಸ್‌ನ್ನು ಸೇರಿಸುತ್ತಾರೆ. ಬೆಳೆ ಬಂದ ನಂತರ, ಜೋಳದ ಧಾನ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಪಟು ಫಾಸ್ಫರಸ್‌ನ ಅಂಶ ಇದೆಯೇ ಹೇಗೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಗೈಗರ್ ಗಣಕ ಅಥವಾ ಮತ್ತಾವುದೇ ದಿಷ್ಟಕದ ಸಹಾಯಧಿಂದ ಪರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಾರೆ. ವಿಕಿರಣದ ಅಂಶ ಕಂಡುಬಂದರೆ, ಬೆಳೆಯು ಆ ಗೊಬ್ಬರವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಕೊಂಡಿದೆಯೆಂದರ್ಥ. ಆ ಗೊಬ್ಬರ ಬೆಳೆಗೆ ಸೂಕ್ತವಾಗಿರದಿದ್ದರೆ, ಬೆಳೆದ ಬೆಳೆಯಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣದ ಅಂಶ ಕಂಡು ಬರುವುದಿಲ್ಲ. ಇದಲ್ಲದೆ ಹಣ್ಣು-ತರಕಾರಿಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣಕ್ಕೆ ಒಳಪಡಿಸಿ ಬಹುಕಾಲ ಕೆಡದಂತೆ ಇಡಬಹುದು.

ಔದ್ಯೋಗಿಕ ರಂಗದಲ್ಲಿ

ಯಂತ್ರೋಪಕರಣಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಎಷ್ಟೋ ಬಿಡಿ

ಭಾಗಗಳನ್ನು ಎರಕ ಹೊಯ್ದು ತಯಾರಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಅನೇಕ ಸಲ ಅವುಗಳ ಒಳಗಡೆ ಹವೆಯ ಗುಳ್ಳೆಗಳು ಉಳಿದುಕೊಂಡಿರುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ. ಅಂತಹ ದೋಷಗಳನ್ನು ಗಾಮಾಕಿರಣಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ವಾಹನಗಳ ಪಿಸ್ಟನ್ ಉಂಗುರ (Piston Rings) ಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ವಿಕಿರಣಪಟು ಕಬ್ಬಿಣವನ್ನು ಸೇರಿಸಿ ತಯಾರಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಅಂತಹ ಉಂಗುರವನ್ನು ಮೋಟಾರಿನಲ್ಲಿಟ್ಟು, ಕೆಲ ಗಂಟೆಗಳ ಕಾಲ ಮೋಟಾರನ್ನು ಚಾಲೂ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಡುತ್ತಾರೆ. ಮೊದಲೇ ಉಂಗುರಕ್ಕೆ ತೈಲವನ್ನು ಲೇಪಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ಆ ತೈಲವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವದ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸುತ್ತಾರೆ. ಅದರಲ್ಲಿರುವ ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವದ ಪ್ರಮಾಣದ ಆಧಾರದಿಂದ, ಉಂಗುರವು ಎಷ್ಟು ಸವಕಳಿಯಾಗಿದೆಯೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಅದರಿಂದ ಉಂಗುರ ಎಷ್ಟುಕಾಲ ಬಾಳಿಕೆ ಬರಬಹುದೆಂಬುದನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಿಂದ ಕಾಲ ನಿರ್ಣಯ

ಕಾಲ ನಿರ್ಣಯ ಮಾಡಲು ವಿಜ್ಞಾನ ಒದಗಿಸಿಕೊಟ್ಟಿರುವ ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಸಿದ್ಧಿ ಪಡೆದುದು ಮತ್ತು ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿರುವುದು ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ವಿಧಾನ. ಈ ವಿಧಾನದ ರೂಪಕ ಅಮೇರಿಕೆಯ ರಸಾಯನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಫ್ರಾಂಕ್ ಲಿಬ್ಬಿ. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎಲ್ಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಭೂಮಿಯನ್ನು ತಲುಪದೆ ಬಹುಪಾಲು ವಾಯುಮಂಡಲದ ಮೇಲಿನ ಸ್ತರಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಕಣ್ಮರೆಯಾಗಲು ಕಾರಣವೇನೆಂಬುದನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಲು ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿಯವರು ಕೈಗೊಂಡ ಸಂಶೋಧನೆಯು ಈ ಉಪಯುಕ್ತ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಪರ್ಯವಸಾನವಾಯಿತು. ಇದೊಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರ ಕಥೆ.

ವಾಯುಮಂಡಲದ ಮೇಲಿನ ಸ್ತರಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಕೆಲವೊಂದು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಲಿಬ್ಬಿಯವರಿಗೆ ಆಸಕ್ತಿ ಹುಟ್ಟಿತು. ವಿಶ್ವದ ಯಾವುದೋ ಅಪರಿಚಿತ ಆಕರದಿಂದ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದ ಒಂದು ಬಗೆಯ

ವಿಸರಣವು ಭೂಮಿಗೆ ಬಂದು ತಲುಪುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು 1911ರಲ್ಲಿ ಹೆಸ್ ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಅಂದಿನಿಂದ ಈ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪದ ಬಗ್ಗೆ ಅನೇಕ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಭೂಮಿಯ ಮೇಲಿನ ಹತ್ತಾರು ಕಿಲೋಮೀಟರುಗಳಷ್ಟು ದಪ್ಪದ ಗಾಳಿಯ ಹೊದಿಕೆಯನ್ನು ತೂರಿಕೊಂಡು ಬರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ಮಾರ್ಪಾಟುಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಅದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆಯೇ ಅವುಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆ ಮಾಡುವ ಉದ್ದೇಶದಿಂದ, ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಹೊತ್ತ ಬಲೂನುಗಳನ್ನು ಮೇಲಕ್ಕೆ ಹಾರಿಬಿಡುತ್ತಾರೆ. ಅಂತಹ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರ ವಿಷಯ ಹೊರಬಿತ್ತು. ಭೂಮಿಯಿಂದ ಹೆಚ್ಚೆಚ್ಚು ಎತ್ತರಕ್ಕೆ ಹೋದಂತೆಲ್ಲ ಹವೆಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿರುವುದು ಕಂಡು ಬರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ 40,000 - 50,000 ಅಡಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಾಂದ್ರತೆ ಗರಿಷ್ಠ ಮಿತಿ ತಲುಪಿ ಅಲ್ಲಿಂದ ಮೇಲಕ್ಕೆ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಒಂದು ತೀರ್ಮಾನ ಖಚಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಿಂದ ಬರುವ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಮೊದಲೇ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿರುವುದಿಲ್ಲ. ವಾಯು ಮಂಡಲವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದನಂತರ ಯಾವುದೋ ಕ್ರಿಯೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಹವೆಯ ಮೇಲಿನ ಸ್ತರಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲದೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಕೆಳಕ್ಕೆ ಇಳಿಯುತ್ತಿಳಿಯುತ್ತ ಹವೆಯಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ವರ್ತಿಸಿ ವ್ಯಯವಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಭೂಮಿಯನ್ನು ತಲುಪುವ ವೇಳೆಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಲ್ಲಿ ಬಹುಭಾಗ ಕಣ್ಮರೆಯಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾದ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಯಾವುವು ಎಂಬ ಸಮಸ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿಗೆ ಆಸಕ್ತಿ ಹುಟ್ಟಿತು.

ಆಕ್ಸಿಜನ್ ಮತ್ತು ನೈಟ್ರೋಜನ್‌ಗಳು ಹವೆಯ ಮುಖ್ಯ ಘಟಕಗಳು. ಆರ್ಗಾನ್ ಮೊದಲಾದ ಜಡಾನಿಲಗಳು, ನೀರಿನ ಆವಿ, ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡು ಇವು ಹವೆಯಲ್ಲಿ ಬಹು ಕಡಿಮೆ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ನುಂಗಿಹಾಕುವಲ್ಲಿ ಅವು ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರ ವಹಿಸಿರಲಾರವು. ವಾಯುಮಂಡಲದ ಕೆಳಸ್ತರಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಕಡಿಮೆ ಯಿರುವುದಕ್ಕೆ ಆಕ್ಸಿಜನ್ ಮತ್ತು ನೈಟ್ರೋಜನ್‌ಗಳೇ ಕಾರಣವಿರಬೇಕು.

ಇವೆರಡು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಯಾವರೀತಿ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಅನೇಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿ ನೋಡಿದ. ಆಕ್ಸಿಜನ್ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನೊಡನೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಸುಲಭವಾಗಿ ವರ್ತಿಸುವದಿಲ್ಲವೆಂಬುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಬೀಜದೊಡನೆ ಅದು ಮೂರು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ವರ್ತಿಸುವುದು ಕಂಡುಬಂತು.

1. $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$

2. $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6B^{11} + {}_2He^4$

3. $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_1H^3$

ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿ ಈ ಮೂರೂ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ವಿಶದವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದಾಗ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೊದಲನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಯೇ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಭವನೀಯ, ಎರಡನೆಯ ಮತ್ತು ಮೂರನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯುವುದು ಬಹು ವಿರಳ ಎಂಬುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಅಂದ ಮೇಲೆ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ಹವೆಯಲ್ಲಿರುವ ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ವರ್ತಿಸಿ ಕಾರ್ಬನ್-14 ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡುತ್ತಿರಬೇಕೆಂದು ಲಿಬ್ಬಿ ತೀರ್ಮಾನಿಸಿದ. ಹೀಗೆ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದ C^{14} ಆಕ್ಸಿಜನ್ನಿನೊಡನೆ ಸಂಯೋಗ ಹೊಂದಿ ವಾಯುಮಂಡಲದ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡಿನೊಂದಿಗೆ ಬೆರೆತು ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಹವೆಯಲ್ಲಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡಿನಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗ C^{14} ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಕೂಡಿರುತ್ತದೆ. ಈ C^{14} ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಸಾಮಾನ್ಯ C^{12} ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಇಲ್ಲ. ಎರಡೂ ಬಗೆಯ ಕಾರ್ಬನ್ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದೇ ರೀತಿ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಆದರೆ C^{14} ಪರಮಾಣು ವಿಕಿರಣಪಟುತ್ವವುಳ್ಳದ್ದು. ಅದನ್ನು ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಎನ್ನುತ್ತಾರೆ. ಅದು ಅಸ್ಥಿರ. C^{14} ಪರಮಾಣುಗಳು

ಕ್ರಮೇಣ ಒಂದೊಂದಾಗಿ ನೈಟ್ರೋಜನ್ ಪರಮಾಣುವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುವಾಗ ಅದರ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಪ್ರೋಟಾನಾಗಿ ಮಾರ್ಪಟ್ಟು ಒಂದು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಉತ್ಸರ್ಜಿಸುತ್ತದೆ.

$$_{6}C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}e^{0}$$

ಈ ಕ್ರಿಯೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವೇಗದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಆರಂಭದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಗ್ರಾಂ C^{14} ಇದ್ದರೆ ಅದು ಅರ್ಧಗ್ರಾಂ ಆಗಲು ಸುಮಾರು 5568 ವರ್ಷ ಬೇಕು. ಇದು ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನ ಅರ್ಧಾಯು. ಇದನ್ನೇ ಮತ್ತೊಂದು ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಪ್ರಾರಂಭದಲ್ಲಿದ್ದ C^{14} ಮೊತ್ತದಲ್ಲಿ ಶೇಕಡಾ ಒಂದರಷ್ಟು ಕಡಿಮೆಯಾಗಲು ಸುಮಾರು 80 ವರ್ಷ ಬೇಕು. ಉಳಿದದ್ದರ ಶೇಕಡಾ ಒಂದರಷ್ಟು ವ್ಯಯವಾಗಲು ಪುನಃ ಅದೇ 80 ವರ್ಷ ಬೇಕು.

ಸಾವಿರಾರು ವರ್ಷಗಳಿಂದಲೂ ಈ ರೀತಿ ವಾಯುಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಕಡೆಯಿಂದ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತಿದ್ದರೆ ಇನ್ನೊಂದು ಕಡೆ ವ್ಯಯವಾಗಿ ಹೋಗುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿಯ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದ ಪ್ರಕಾರ ಈಗ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆಲ್ಲಾ ಒಟ್ಟು ವರ್ಷ ಒಂದಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು 7 ಕಿಲೋಗ್ರಾಂ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತಿದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆ ಕಳೆದ ಹತ್ತಿಪ್ಪತ್ತು ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳಿಂದಲೂ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವುದಾದರೆ ವಾಯುಮಂಡಲದಲ್ಲಿ C^{14} ಸಂಗ್ರಹ ಅಧಿಕವಾಗುತ್ತಾ ಬಂದಂತೆ ಅದು ನಶಿಸಿ ಹೋಗುವ ದರವೂ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತಾ ಬಂದು ಈಗ ಒಂದು ಸಮತೋಲನ ಸ್ಥಿತಿ ಏರ್ಪಟ್ಟಿದೆ. ಅಂದರೆ C^{14} ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತಿರುವ ವೇಗ, ಅದು ನಶಿಸಿ ಹೋಗುತ್ತಿರುವ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸಮವಾಗಿಹೋಗಿ, ವಾಯುಮಂಡಲದಲ್ಲಿರುವ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಮೊತ್ತ ಸ್ಥಿರವಾಗಿದೆ. ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆಲ್ಲಾ ಒಟ್ಟು 80 ಟನ್ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಇರಬೇಕೆಂದು ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಅಂದರೆ ಪ್ರತಿ 80 ಸಾವಿರ ಕೋಟಿ C^{12} ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಒಂದು C^{14} ಪರಮಾಣು ಇರುತ್ತದೆ. ಅಷ್ಟು ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದರೂ ಅದರ

ವಿಕಿರಣತೆಯಿಂದ ಅದನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

ಸಸ್ಯಗಳು ದ್ಯುತಿಸಂಶ್ಲೇಷಣದಲ್ಲಿ ಹವೆಯಲ್ಲಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡನ್ನು ಹೀರಿ ತಮ್ಮ ಪೋಷಣೆ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ , ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಸಸ್ಯಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲೆಲ್ಲ ಹರಡಿಹೋಗಿದೆ. ಪ್ರಾಣಿಗಳು ಸಸ್ಯಗಳನ್ನು ತಿಂದು ಜೀವಿಸುವುದರಿಂದ ಇಲ್ಲವೇ ಸಸ್ಯಾಹಾರಿಗಳಾದ ಇತರ ಪ್ರಾಣಿಗಳನ್ನು ತಿಂದು ಜೀವಿಸುವುದರಿಂದ ಜೀವಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲೆಲ್ಲ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಹರಡಿಕೊಂಡಿದೆ. ಸಸ್ಯ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಣಿಗಳ ಸತ್ತ ದೇಹಗಳು ಕೊಳೆತಾಗ ಅವುಗಳಲ್ಲಿನ ಕಾರ್ಬನ್ ಪುನಃ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಾಯುಮಂಡಲವನ್ನು ಸೇರುವುದು. ಈ ತೆರನಾದ ಕಾರ್ಬನ್ ಚಕ್ರ ಸತತವಾಗಿ ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವುದರಿಂದ, ಜೀವಂತ ಸಸ್ಯ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಣಿಗಳ ದೇಹಗಳಲ್ಲೆಲ್ಲ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ವಾಯುಮಂಡಲದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಪ್ರತಿ 80 ಸಾವಿರಕೋಟಿ C^{12} ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೊಂದು C^{14} ಪರಮಾಣು ಇರಬೇಕು.

ಆದರೆ ಜೀವಿಯೊಂದು ಸತ್ತು ಅದರ ದೇಹದ ಯಾವುದೇ ಭಾಗವು ಕೊಳೆಯದೆ ಒಂದು ಅವಶೇಷವಾಗಿ ಉಳಿದು ಹೋಯಿತು ಎಂದಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಒಂದು ಮರದ ತುಂಡು, ಇದ್ದಿಲು ಅಥವಾ ಒಣಗಿದ ಎಲೆ. ವಾಯುಮಂಡಲದಲ್ಲಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್ ಮತ್ತು ಅಂತಹ ಅವಶೇಷದಲ್ಲಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್-ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಕಾರ್ಬನ್ ಪರಮಾಣುಗಳ ವಿನಿಮಯ ನಿಂತುಹೋಗುವುದರಿಂದ, ಆ ಅವಶೇಷ ದಲ್ಲಿರುವ ರೇಡಿಯೋ-ಕಾರ್ಬನ್ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದು ಕ್ಲುಪ್ತ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ, ಅದರಲ್ಲಿನ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪ್ರಮಾಣ ಕಡಿಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಈಗಾಗಲೇ ವಿವರಿಸಿದಂತೆ 5568 ವರ್ಷ ಹಳೆಯದಾದ ಒಂದು ಮರದ ತುಂಡಿನಲ್ಲಿರುವ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪ್ರಮಾಣ ಮೊದಲಿದ್ದುದರ ಅರ್ಧದಷ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಪ್ರತಿ 160 ಸಾವಿರ ಕೋಟಿ C^{12} ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಒಂದು C^{14} ಪರಮಾಣು ಇರುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲಿಂದ 5568 ವರ್ಷಗಳ ತರುವಾಯ, ಅಂದರೆ 11136 ವರ್ಷ ಹಳೆಯದಾದ ಅವಶೇಷದಲ್ಲಿ ಪ್ರತಿ 320 ಸಾವಿರ ಕೋಟಿ C^{12}

ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಒಂದು C^{14} ಪರಮಾಣು ಇರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನೇ ಇನ್ನೊಂದು ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಪ್ರತಿ 90 ವರ್ಷಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಸಲ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪ್ರಮಾಣ ಆ ಮೊದಲಿದ್ದುದಕ್ಕಿಂತ ಶೇಕಡಾ ಒಂದರಷ್ಟು ಕಡಿಮೆ ಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ತೀರ್ಮಾನಕ್ಕೆ ತಲುಪಿದ ಕೂಡಲೇ ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿಗೆ ಒಂದು ಯೋಚನೆ ಹೊಳೆಯಿತು. ಯಾವುದಾದರೂ ಐತಿಹಾಸಿಕ ಅವಶೇಷದಲ್ಲಿರುವ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಅಳೆದು ಅದರ ಕಾಲವನ್ನು ನಿರ್ಣಯಿಸಬಹುದಲ್ಲವೆ ? ಅಂದರೆ ಅದು ಎಷ್ಟು ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಸಜೀವಿಯ ದೇಹ ಭಾಗವಾಗಿದ್ದು, ಅದರಿಂದ ಬೇರ್ಪಟ್ಟಿತು ಎಂಬುದನ್ನು ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಬಹುದು. ತಾತ್ವಿಕವಾಗಿ ಈ ತೀರ್ಮಾನ ಸರಿಯಾದುದೇ ಆದರೂ ಅದನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಅಡಚಣೆಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಬೇಕಾಗಿರುವ ಪದಾರ್ಥದಿಂದ ಶುದ್ಧ ಕಾರ್ಬನ್ ತಯಾರಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಅದಕ್ಕಾಗಿ, ಪದಾರ್ಥದ ಒಂದು ಚೂರನ್ನು ಸುಟ್ಟು ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡ್ ತಯಾರಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತಾರೆ. ಈ ಅನಿಲವನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ಶುದ್ಧೀಕರಿಸಿ, ಮೆಗ್ನೇಶಿಯಂ ಲೋಹದ ಸಹಾಯದಿಂದ ಅದನ್ನು ಆಕರ್ಷಿಸಿ, ಶುದ್ಧ ಕಾರ್ಬನ್ ಪಡೆಯುತ್ತಾರೆ. ಇಂದು ಜೀವಂತವಾಗಿರುವ ಒಂದು ಸಸ್ಯದ ಭಾಗದಿಂದ ಈ ರೀತಿ ಶುದ್ಧ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ತಯಾರಿಸಿದರೆ ಅದರಲ್ಲಿ, ವಾಯುಮಂಡಲದ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡಿನಲ್ಲಿರುವಂತೆಯೇ 80 ಸಾವಿರ ಕೋಟಿ C^{12} ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಒಂದು ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪರಮಾಣು ಇರಬೇಕಷ್ಟೆ. ಇದು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿ ಕಂಡರೂ, ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಿಹೋಡಿದರೆ ಅದು ಗಣನೆಗೆ ಬಾರದಷ್ಟು ಅಲ್ಪವೇನಲ್ಲ. ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಲ್ಲಿ ಅಗಾಧ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪರಮಾಣು ಗಳಿರುವುದರಿಂದ, 80 ಸಾವಿರ ಕೋಟಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು - ಎಂದರೂ, ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 6250 ಕೋಟಿ C^{14} ಪರಮಾಣುಗಳಿರುತ್ತವೆ. 90 ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಇದರಲ್ಲಿ ಶೇಕಡಾ ಒಂದು ಭಾಗದಷ್ಟು C^{14} ಪರಮಾಣುಗಳು ನಶಿಸಿ ಹೋಗುತ್ತವೆ. ಈ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಲೆಕ್ಕ ಹಾಕಿ ನೋಡಿದರೆ, ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ತೂಕ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಲ್ಲಿ ಸರಾಸರಿಯಾಗಿ ಒಂದು

ನಿಮಿಷಕ್ಕೆ ಹದಿನಾರು C^{14} ಪರಮಾಣುಗಳು N^{14} ಪರಮಾಣುಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ ಪ್ರತಿ ನಿಮಿಷವೂ ಹದಿನಾರು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಅದರಿಂದ ಹೊರ ಹೊಮ್ಮುತ್ತಾ ಇರುತ್ತವೆ. ಸುಮಾರು 5500 ವರ್ಷ ಹಳೆಯದಾದ ಪದಾರ್ಥದಿಂದ ತಯಾರಿಸಿದ ಕಾರ್ಬನ್ ಆದರೆ ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಿಂದ ನಿಮಿಷಕ್ಕೆ 8 ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಮಾತ್ರ ಹೊರಹೊಮ್ಮುವವು.

ಹೀಗೆ ಹೊರ ಚಿಮ್ಮುವ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಗೈಗರ್ ಗಣಕ ಎಂಬ ಉಪಕರಣದ ಸಹಾಯದಿಂದ ಎಣಿಕೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಒಂದೊಂದು ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನೂ ಗೈಗರ್ ಗಣಕದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ಹೋಗುವಾಗ ಒಂದು ಬಾರಿ 'ಟಿಕ್' ಎಂಬ ಶಬ್ದ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಆ ರೀತಿ ಎಣಿಕೆ ಮಾಡಲು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಅಡಚಣೆ ಇದೆ. ಸುತ್ತಲ ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿರಬಹುದಾದ ವಿಕಿರಣಪಟು ಪದಾರ್ಥಗಳ ಕಾರಣ ಮತ್ತು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಕಾರಣ, ಗೈಗರ್ ಗಣಕದಲ್ಲಿ ಟಿಕ್, ಟಿಕ್ ಶಬ್ದ ಬರುತ್ತಲೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿರುವ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಲ್ಲಿರುವ ವಿಕಿರಣತೆಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಈ ಅಡ್ಡೈಸುವ ವಿಕಿರಣತೆಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಗಣನೀಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಲೆಕ್ಕದಲ್ಲಿ ತಪ್ಪು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ವಾತಾವರಣದ ಈ ವಿಕಿರಣತೆಯಿಂದ ಅಡ್ಡಿಯುಂಟಾಗದಂತೆ ನೋಡಿಕೊಳ್ಳುವುದಕ್ಕಾಗಿ, ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸುವ ಕಾರ್ಬನ್ನನ್ನು 20 ಸೆಂಟಿಮೀಟರ್ ದಪ್ಪದ ಕಬ್ಬಿಣದ ಗೋಡೆಗಳುಳ್ಳ ಕಪಾಟಿನಲ್ಲಿಡಬೇಕಾಗುವುದು. ಇದಕ್ಕಾಗಿಯೇ ಅನೇಕ ಟನ್ನುಗಳಷ್ಟು ಕಬ್ಬಿಣ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಎದುರಿಸಬೇಕಾದ ಇಂತಹ ಅಡಚಣೆಗಳನ್ನೆಲ್ಲಾ ನಿವಾರಿಸಲು ಸೂಕ್ತ ಕ್ರಮಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿಕೊಂಡ ತರುವಾಯ ಲಿಬ್ಬಿ, ಮೊದಲು ವಾತಾವರಣದ ಕಾರ್ಬನ್ ಡೈ ಆಕ್ಸೈಡನ್ನು, ತರುವಾಯ ಬಾಲ್ಟಿಮೋರ್ ನಗರದ ಒಳಚರಂಡಿಯಿಂದ ಬರುವ ಮೀಥೇನ್ ಅನಿಲವನ್ನು, ಅದಾದ ಬಳಿಕ ಜೀವಂತ ಸಸ್ಯವೊಂದರಿಂದ ತಯಾರಿಸಿದ ಶುದ್ಧ ಕಾರ್ಬನ್ನನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಗುರಿಪಡಿಸಿದರು. ಅವುಗಳೆಲ್ಲದರಲ್ಲೂ ನಿರೀಕ್ಷಿತ ಮಟ್ಟದ ವಿಕಿರಣತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಗ್ರಾಮ್ ಕಾರ್ಬನ್ನಿನಿಂದ ನಿಮಿಷವೊಂದಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು ಹದಿನಾರು ಎಣಿಕೆ ಗೈಗರ್ ಗಣಕದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿತು.

ಮುಂದಿನ ಹಂತ, ಖಚಿತವಾಗಿ ಕಾಲ ನಿರ್ಣಯವಾಗಿರುವ ಐತಿಹಾಸಿಕ ಅವಶೇಷಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆ. 4600 ವರ್ಷಗಳ ಕೆಳಗೆ ಸೋಸರ್ ಎಂಬ ದೊರೆ ಈಜಿಪ್ಟ್ ದೇಶವನ್ನಾಳುತ್ತಿದ್ದನೆಂಬುದು ಇತಿಹಾಸ ದಾಖಲೆಗಳಿಂದ ಸಿದ್ಧವಾಗಿದೆ. ಆತನ ಗೋರಿ ಸಕ್ಕಾರ ಎಂಬಲ್ಲಿದೆ. ಮೃತ ದೇಹದೊಡನೆ ಮರದ ದೋಣಿಗಳನ್ನಿಟ್ಟು ಗೋರಿ ಕಟ್ಟುವುದು ಆಗಿನವರ ಪದ್ಧತಿಯಾಗಿತ್ತು. ಸೋಸರ್‌ನ ಗೋರಿಯಲ್ಲಿದ್ದ ಅಂತಹ ಶವಸಂಸ್ಕಾರದ ದೋಣಿಯಿಂದ ಒಂದು ತುಂಡು ಮರವನ್ನು ಕತ್ತರಿಸಿಕೊಂಡು ಅದರಿಂದ ಶುದ್ಧ ಕಾರ್ಬನ್ ತಯಾರಿಸಿ ಅದನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಅದರಲ್ಲಿ ಈಗ ಕಂಡು ಬರುವ ವಿಕಿರಣತೆಯ ಮಟ್ಟದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಲಾಗಿ ನೂರಾರು ವರ್ಷ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿ ಎದೆಗುಂದಲಿಲ್ಲ. ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಅವಶೇಷಗಳನ್ನು ಆರಿಸಿಕೊಂಡು ಒಂದಾದ ಮೇಲೊಂದರಂತೆ. ನೂರಾರು ಪರೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದರು.

ಸ್ನೇಫರ್ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಬ್ಬ ರಾಜ ಸೋಸರ್‌ನಿಗಿಂತ 75 ವರ್ಷ ಈಚಿನವ. ಆತನ ಗೋರಿಯಿಂದ ತೆಗೆದ ಮರದ ತುಂಡನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದಾಗ ಅದು 4800 ವರ್ಷ ಹಿಂದಿನದೆಂದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇಲ್ಲಿ ಬಂದ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಕೇವಲ 200 ವರ್ಷಗಳು. ಐದು ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳ ಲೆಕ್ಕದಲ್ಲಿ 200 ವರ್ಷ ಅಷ್ಟೇನೂ ಹೆಚ್ಚಲ್ಲ. 3800 ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಜೀವಿಸಿದ್ದನೆಂದು ಖಚಿತವಾಗಿ ಗೊತ್ತಿರುವ ರಾಜ ಸೆಸೋಸ್ಟ್ರಿಸ್‌ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅವಶೇಷಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದಾಗ ಫಲಿತಾಂಶ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಕರಾರುವಾಕ್ಕಾಗಿತ್ತು. ಅದಾದ ತರುವಾಯ ಕ್ರಿ. ಪೂ. 1-2ನೆಯ ಶತಮಾನದ್ದೆಂದು ಗೊತ್ತಿರುವ ಮೃತ್ಯುಸರೋವರದ ಗ್ರಂಥ ಸುರುಳಿಯ ಮೇಲೆ ಸುತ್ತಿದ್ದ ಬಟ್ಟೆಯ ತುಂಡನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲಾಗಿ ಅದು 19 17 ± 200 ವರ್ಷ ಹಳೆಯದೆಂದು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಸೂಚಿಸಿದವು. ಇಂತಹ ಇನ್ನೂ ಅನೇಕ ಪರೀಕ್ಷೆಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಂದ ಈ ವಿಧಾನ ವಿಶ್ವಾಸಾರ್ಹವೆಂದು ನಿರ್ಧಾರವಾಯಿತು. ಅಲ್ಲದೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ತಂತ್ರಗಳೂ ಕೂಡ ಪರಿಪೂರ್ಣತೆ ಪಡೆದವು. ಇಂದು ಲಿಬ್ಬಿಯ ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ವಿಧಾನ ಕಾಲ ನಿರ್ಣಯಕ್ಕೆ ಒಂದು ನಂಬಿಕೆಗೆ ಅರ್ಹವಾದ ಸಾಧನವಾಗಿದೆ. ಪ್ರಪಂಚದಾದ್ಯಂತ ಐವತ್ತಕ್ಕೂ ಹೆಚ್ಚು ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳು ಈಗ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ

ಸಾಧನೆಗಾಗಿ ವಿಲ್ಲಾರ್ಡ್ ಲಿಬ್ಬಿಗೆ 1960ರಲ್ಲಿ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ನೊಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವನ್ನು ಕೊಟ್ಟು ಗೌರವಿಸಲಾಯಿತು.

ರೇಡಿಯೋಕಾರ್ಬನ್ ವಿಧಾನ ಲಭ್ಯವಾದುದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಅದಕ್ಕೆ ಹಿಂದೆ ಇತಿಹಾಸಜ್ಞರು ತಳೆದಿದ್ದ ಅನೇಕ ಭಾವನೆಗಳನ್ನು ಅವರು ಬದಲಾಯಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗಿ ಬಂತು. ಸಂದೇಹಾಸ್ಪದವಾಗಿದ್ದ ಅನೇಕ ಸಮಸ್ಯೆಗಳ ಮೇಲೆ ಈ ವಿಧಾನವು ಹೊಸಬೆಳಕು ಚೆಲ್ಲಿದೆ. ಯೂರೋಪಿನಲ್ಲಿ ನವಶಿಲಾಯುಗ ಪ್ರಾರಂಭವಾದುದು ಕ್ರಿ. ಪೂ. 2000 ದಲ್ಲಿ ಎಂಬ ಭಾವನೆ ಪ್ರಾಚೀನ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞರಲ್ಲಿ ಸರ್ವಸಮ್ಮತವಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ತತ್ಸಂಬಂಧವಾದ ಅವಶೇಷಗಳನ್ನು ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದಾಗ ಆ ಕಾಲ ಕ್ರಿ. ಪೂ. 3000 ಇದ್ದಿರಬೇಕೆಂದು ಪ್ರಯೋಗ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಪದೇ ಪದೇ ಘೋಷಿಸಿದವು. ಇಂದು ಈ ಭಾವನೆ ಸರ್ವಸಮ್ಮತವಾಗಿದೆ.

ನಮ್ಮ ಭೂಗ್ರಹದ ಮೇಲೆ ವಿವಿಧ ಭಾಗಗಳ ಹವಾಗುಣ ಯಾವಾಗಲೂ ಈಗಿನಂತೆಯೇ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಈಗ ಉತ್ತರ ಧ್ರುವವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸಿಕೊಂಡ ಮಂಜುಗಡ್ಡೆ ಒಂದಾನೊಂದು ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಉತ್ತರ ಯೂರೋಪಿನ ಬಹುಭಾಗವನ್ನು ಆವರಿಸಿಕೊಂಡಿತ್ತು. ಇಂಗ್ಲೆಂಡ್, ಫ್ರಾನ್ಸ್, ಜರ್ಮನಿ, ಎಲ್ಲವೂ ಮಂಜುಗಡ್ಡೆಯಿಂದ ಮುಚ್ಚಿಹೋಗಿದ್ದವು. ಅಮೇರಿಕಾ ಖಂಡದಲ್ಲಿಯೂ ಗ್ರೀನ್‌ಲೆಂಡ್, ಕೆನಡಾಗಳಲ್ಲದೆ ಅಮೇರಿಕ ಸಂಯುಕ್ತ ಸಂಸ್ಥಾನದ ಉತ್ತರ ಭಾಗವೂ ಉತ್ತದ ಧ್ರುವದಿಂದ ಹರಡಿಕೊಂಡಿದ್ದ ಮಂಜಿನಿಂದ ಆವೃತ್ತವಾಗಿತ್ತು. ಕಾಲಕ್ರಮೇಣ ಹವೆ ಬೆಚ್ಚಗಾಗುತ್ತ ಬಂದು ಮಂಜುಗಡ್ಡೆ ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಸರಿದು ಉತ್ತರ ಧ್ರುವದ ಸುತ್ತಣ ಪ್ರದೇಶಕ್ಕೆ ಅದು ಸೀಮಿತವಾಯಿತು. ಕಳೆದ ಒಂದು ಮಿಲಿಯನ್ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಇಂತಹ ನಾಲ್ಕು ಹಿಮಾಂಶ ಯುಗಗಳಾಗಿವೆ. ಅಂದರೆ, ಶೀತವಲಯದ ಮಂಜುಗಡ್ಡೆ ಈ ಭೂಭಾಗಗಳಿಗೆ ನಾಲ್ಕು ಬಾರಿ ಭೇಟಿ ಕೊಟ್ಟಿದೆ. ಕೊನೆಯ ಹಿಮಾಂಶ ಯುಗ ಅಂತ್ಯವಾದುದು ಯಾವಾಗ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಆಸಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೆರಳಿಸಿದೆ. ಅದು 25000 ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ ಕೊನೆಗೊಂಡಿತೆಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಇಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ನಂಬಿದ್ದರು. ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ ವಿಧಾನ ಆ ನಂಬಿಕೆಯನ್ನು ಬುಡಮೇಲು ಮಾಡಿದೆ. ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅವಶೇಷಗಳನ್ನು

ಪುನಃ ಪುನಃ ಪರೀಕ್ಷೆಮಾಡಿ ನೋಡಲಾಗಿದೆ. ಕೊನೆಯ ಹಿಮಾಂಶ ಯುಗ 10- 11 ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳ ಕೆಳಗೆ ಕೊನೆಗೊಂಡಿತೆಂಬುದು ಈಗ ಖಚಿತವಾಗಿದೆ.

ವಿಜ್ಞಾನದ ಒಂದು ಶಾಖೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಕೆಲಸ ಇನ್ನೊಂದರ ಮೇಲೆ ಹೇಗೆ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತ ಪರಿಣಾಮವನ್ನುಂಟುಮಾಡಬಲ್ಲದೆಂಬುದಕ್ಕೆ ಉತ್ತಮ ನಿದರ್ಶನವೊಂದನ್ನಿಲ್ಲಿ ಕೊಡಬಹುದು. ಮಂಚೂರಿಯದ ಪು- ಲಾನ್- ಟೀನ್ ಎಂಬ ಹಳ್ಳಿಯ ಬಳಿ ಒಂದು ಪುರಾತನ ಸರೋವರದ ಅವಶೇಷವಿದೆ. ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಅಲ್ಲೊಂದು ಸರೋವರವಿದ್ದು ಈಗ ಅದು ಇಂಗಿ ಹೋಗಿದೆ. ಒಣಗಿದ ಸರೋವರದ ತಳದ ಮೇಲೆ ಗಾಳಿಯಿಂದ ಹೊಡೆದುಕೊಂಡು ಬಂದ ನುಣುಪಾದ ಹಳದಿ ಮಣ್ಣು ಹಲವಾರು ಅಡಿಗಳಷ್ಟು ಶೇಖರವಾಗಿದೆ. ಆ ಸರೋವರ ಏಕೆ ಒಣಗಿತು, ಯಾವಾಗ ಒಣಗಿತು ಎಂಬ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಬಿಡಿಸಲು ಜಪಾನಿನ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಡಾ. ಇಚಿರೋ ಓಗ್ ಮುಂದಾದರು. 1920 - 25 ರಲ್ಲಿ ಅವರು ಅಲ್ಲಿಯ ಮಣ್ಣನ್ನು ಅಗೆಯುತ್ತಿದ್ದಾಗ ಐದಾರು ಅಡಿ ಕೆಳಗೆ ಹುದುಗಿದ್ದ ಹಲವಾರು ತಾವರೆ ಬೀಜಗಳು ಅವರಿಗೆ ದೊರೆತವು. ಸರೋವರ ಒಣಗಿದಾಗ ಅಲ್ಲಿದ್ದ ತಾವರೆ ಗಿಡದ ಬೀಜಗಳು ಅಲ್ಲಿಯೇ ಉಳಿದುಕೊಂಡಿದ್ದವು.

ಡಾ. ಓಗ್‌ರವರು ಆ ಬೀಜಗಳನ್ನು ಜಪಾನಿಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡುಹೋಗಿ ಅದರಲ್ಲಿ ಎರಡನ್ನು ಹಸಿಮಣ್ಣಿನಲ್ಲಿ ನೆಟ್ಟರು. ಬೀಜ ಮೊಳೆತು ಗಿಡವಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಅವರಿಗೆ ತುಂಬಾ ನಿರಾಶೆಯಾಯಿತು. ಆ ಬೀಜಗಳಿಗೆ ಸಂತಾನ ಶಕ್ತಿ ಇರುವುದನ್ನು ಕಂಡ ಸಸ್ಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅವುಗಳ ಕಾಲದ ಬಗ್ಗೆ ತಮ್ಮ ಅಭಿಪ್ರಾಯ ನೀಡಿದರು - ಅವು ಇನ್ನೂರು ವರ್ಷಗಳಿಗೂ ಹಿಂದಿನವಾಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲವೆಂದು. ಆದರೆ ಸರೋವರ ಇಂಗಿ ಹೋಗಿ ಹಲವಾರು ಶತಮಾನಗಳಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಕೆಲ ಇತಿಹಾಸಜ್ಞರು ಅಭಿಪ್ರಾಯಪಟ್ಟಿದ್ದರು. 50,000 ವರ್ಷಗಳಾಗಿದ್ದರೂ ಆಗಿರಬಹುದೆಂದು ಹೇಳಿದವರೂ ಇದ್ದರು. ಡಾ. ಓಗ್‌ರವರು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿದ ಆ ಬೀಜಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಅವರ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳ ಕೈಗೆ ಬಂದು, ಅಲ್ಲಿಂದ ಹೇಗೋ ಅಮೇರಿಕವನ್ನು ತಲುಪಿ, ಅವು 1950ರ ವೇಳೆಗೆ ಷಿಕಾಗೋ ನಗರದಲ್ಲಿದ್ದ ಪ್ರೊ. ಲಿಬ್ಬಿಯ

ಕೈಸೇರಿದವು. ಲಿಬ್ಬಿ ಅವನ್ನು ರೇಡಿಯೋಕಾರ್ಬನ್ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದರು. ಅವುಗಳು ತೋರಿದ ವಿಕಿರಣತೆಯಿಂದ ಅವು 1000 ವರ್ಷ ಹಿಂದಿನವೆಂದು ತೀರ್ಮಾನವಾಯಿತು. ಮಂಚೂರಿಯದ ಸರೋವರ ಹತ್ತು ಶತಮಾನಗಳ ಹಿಂದೆ ಇಂಗಿತೆಂದು ಸಿದ್ಧವಾಯಿತು. ಅದಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ಅಂಶವೆಂದರೆ, 1000 ವರ್ಷಗಳಾದರೂ ತಾವರೆ ಬೀಜಗಳು ಸಂತಾನಶಕ್ತಿ ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುವುದಿಲ್ಲವೆಂಬುದು ಸಸ್ಯ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಮನವರಿಕೆಯಾಗಿ ಅವರು ತಮ್ಮ ಹಿಂದಿನ ಭಾವನೆಯನ್ನು ತಿದ್ದಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಯಿತು. ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಮಣ್ಣಿನಲ್ಲಿ ಅಡಗಿಕೊಂಡಿದ್ದ ಆ ಬೀಜಗಳಿಂದ ಹುಟ್ಟಿದ ತಾವರೆ ಗಿಡಗಳನ್ನೂ, ಅದರಲ್ಲಿ ಅರಳಿರುವ ತಾವರೆಪುಷ್ಪಗಳನ್ನೂ ಇಂದು ವಾಷಿಂಗ್‌ಟನ್ನಿನ ಕೆನಿಲ್‌ವರ್ತ್ ಜಲೋದ್ಯಾನದಲ್ಲಿ ನೋಡಬಹುದು.

10. ಕೊನೆಯ ದಿನಗಳು

1945ರ ಜುಲೈ ತಿಂಗಳ ಸುಮಾರಿಗೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಸಿದ್ಧವಾಗಿ, ಅದರ ಪರೀಕ್ಷಾರ್ಥ ಸ್ಫೋಟವೂ ನಡೆದು ಹೋಗಿತ್ತು. ಇತ್ತ ಯುದ್ಧರಂಗದಲ್ಲಿ ಜರ್ಮನಿ ಸೋತು ಶರಣಾಗಿತ್ತು. ಜಪಾನು ಮಾತ್ರ ಇನ್ನೂ ಹೋರಾಡುತ್ತಿತ್ತು. ಈಗ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಬೇಕೇ ಅಥವಾ ಬೇಡವೇ ಎಂಬ ಜಿಜ್ಞಾಸೆ ಆರಂಭವಾಯಿತು. ಯಾಕೆಂದರೆ, ಜಪಾನೊಂದೇ ಮಿತ್ರರಾಷ್ಟ್ರಗಳ ವಿರುದ್ಧ ಹೆಚ್ಚುಕಾಲ ಯುದ್ಧ ಮುಂದುವರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿರಲಿಲ್ಲ. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಯುದ್ಧದಲ್ಲಿಯೇ ಮಿತ್ರರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ಜಪಾನನ್ನು ಸೋಲಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವಿತ್ತು. ಅಲ್ಲದೆ ಜರ್ಮನಿ ಆಗಲೇ ಶರಣಾದ್ದರಿಂದ, ಅದು ಪರಮಾಣು ಅಸ್ತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವ ಬಗ್ಗೆ ಅಮೇರಿಕೆಯಾಗಲೀ ಅಥವಾ ಅದರ ಮಿತ್ರ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳಾಗಲೀ ಭಯಪಡಬೇಕಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಬಾಂಬು ನಿರ್ಮಾಣ ಯೋಜನೆಯಲ್ಲಿ ಸಕ್ರಿಯವಾಗಿ ಭಾಗವಹಿಸಿದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಎಷ್ಟೋ ಜನ ಅದರ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ವಿರೋಧಿಸಲಾರಂಭಿಸಿದರು.

''ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ಸಾಮಾಜಿಕ ಮತ್ತು ರಾಜಕೀಯ ಪರಿಣಾಮಗಳ'' ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕಾಗಿ ಒಂದು ಸಮಿತಿಯನ್ನು ನೇಮಕ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಏಳು ಜನ ಸದಸ್ಯರ ಈ ಸಮಿತಿಗೆ ಪ್ರೊ. ಜೇಮ್ಸ್ ಫ್ರಾಂಕ್ ಚೇರ್‌ಮನ್ನರಾಗಿದ್ದರು. ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ಮೇಲೆ ಅಂತರ್‌ರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ನಿಯಂತ್ರಣವಿರಬೇಕೆಂದು ಈ ಸಮಿತಿಯ ಸದಸ್ಯರೆಲ್ಲ ಒಕ್ಕೊರಲಿನಿಂದ ವಾದಿಸಿದರು. ಅಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲ, ಒಂದು ವೇಳೆ ಜಪಾನಿನ ಮೇಲೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಯುದ್ಧಾನಂತರ, ಅಣ್ವಸ್ತ್ರ ನಿಷೇಧ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯ ನಿಯಂತ್ರಣ ಕುರಿತು ಮಾತನಾಡಲು ಅಮೇರಿಕನ್ನರಾದ ನಮಗೆ ಯಾವ ನೈತಿಕ ಹಕ್ಕು ಇರುವುದಿಲ್ಲವೆಂದು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದರು. ಅನೇಕ ಜನ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅಧ್ಯಕ್ಷ ಟ್ರೂಮನ್ ಅವರಿಗೆ ನೇರವಾಗಿ ಮನವಿ

ಸಲ್ಲಿಸಿದರು. ಆದರೆ ಅವೆಲ್ಲ ಒಮ್ಮತದ ಅಭಿಪ್ರಾಯಗಳಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಆಗ ಕೊನೆಗೆ ಯುದ್ಧ ಕಾರ್ಯದರ್ಶಿ ಸ್ಟಿಮ್ಸನ್‌ರ ಸಲಹೆಯಂತೆ ಅಮೇರಿಕೆಯ ಅಧ್ಯಕ್ಷ ಟ್ರೂಮನ್ ಒಂದು ''ಮಧ್ಯಂತರ ಸಮಿತಿ''ಯನ್ನು ನೇಮಕ ಮಾಡಿದರು. ಇದರಲ್ಲಿ ಸೈನಿಕ ಅಧಿಕಾರಿಗಳು, ಕೆಲ ನಾಗರಿಕರೂ ಇದ್ದರು. ಸ್ಟಿಮ್ಸನ್ ಈ ಸಮಿತಿಯ ಮುಖ್ಯಸ್ಥರು. ಇದಕ್ಕೆ ಸಲಹೆ ನೀಡಲು ನಾಲ್ಕು ಜನ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಮಿತಿಯನ್ನೂ ರೂಪಿಸಲಾಯಿತು. ಕಾಂಪ್ಟನ್, ಲಾರೆನ್ಸ್, ಓಪನ್ ಹೀಮರ್ ಮತ್ತು ಫರ್ಮಿ ಈ ಸಮಿತಿಯ ಸದಸ್ಯರಾಗಿದ್ದರು. ಅವರೆಲ್ಲ ಸೇರಿ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸುವಂತೆ ಸಲಹೆ ಇತ್ತರು. ಆಗ ಅಧ್ಯಕ್ಷರ ಆದೇಶದಂತೆ, 1945ರ ಆಗಸ್ಟ್ 6 ರಂದು ಜಪಾನಿನ ಹಿರೋಷಿಮಾ ಮತ್ತು 9 ರಂದು ನಾಗಾಸಾಕಿ ನಗರಗಳ ಮೇಲೆ ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ಎಸೆಯಲಾಯಿತು. ಆಗಸ್ಟ್ 14 ರಂದು ಜಪಾನು ಶರಣಾಯಿತು.

ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ವಿನಾಶಕಾರಿ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಂಡು ಇಡೀ ಜಗತ್ತೇ ದಿಗ್‌ಭ್ರಮೆಗೊಂಡಿತು. ಅನೇಕ ರಾಷ್ಟ್ರಗಳು ಅಮೇರಿಕೆಯನ್ನು ಟೀಕಿಸಿದವು. ಕೆಲವರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳನ್ನು ಟೀಕಿಸಿದರು. ಫರ್ಮಿಯ ದೇಶ ಬಾಂಧವರು (ಇಟಲಿ) ಫರ್ಮಿ ಬಾಂಬು ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪಾಲ್ಗೊಳ್ಳಬಾರದಾಗಿತ್ತೆಂದು ಹೇಳಿಕೆ ನೀಡಿದರು. ಆ ಕುರಿತು ಇಟಲಿಯ ಜನರ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ, ವೃತ್ತಪತ್ರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಬಂದ ಸಮಾಚಾರವನ್ನು ಫರ್ಮಿಯ ಅಕ್ಕ ಕಾಗದ ಬರೆದು ತಿಳಿಸಿದಳು. ಕೆಲವರಂತೂ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬನ್ನು ರಚಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವೆಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಕೂಡಲೇ ಮುಂದಿನ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ನಿಲ್ಲಿಸಿ ಬಿಡಬೇಕಾಗಿತ್ತೆಂದು ವಾದಿಸಿದರು. ಆದರೆ ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿಗೆ ಈ ವಾದಗಳೆಲ್ಲಾ ಒಪ್ಪಿಗೆಯಾಗಲಿಲ್ಲ. ಅತ್ಯಾಧುನಿಕ ಶಸ್ತ್ರಾಸ್ತ್ರಗಳು ನಿರ್ಮಾಣಗೊಂಡಾಗ, ಅವುಗಳ ಭಯದಿಂದ ಮನುಷ್ಯ ಯುದ್ಧದಿಂದ ವಿಮುಖನಾಗುತ್ತಾನೆಂಬುದು ಫರ್ಮಿಯ ವಾದವಾಗಿತ್ತು. ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನ ಕುರಿತು ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನೇ ನಿಲ್ಲಿಸುವುದು ಸೂಕ್ತ ಪರಿಹಾರವಲ್ಲ. ಎಷ್ಟೇ ಅಹಿತಕರವಾಗಿರಲಿ, ನಿಸರ್ಗದಲ್ಲಡಗಿದ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಮನುಷ್ಯ ಪಡೆಯಲೇಬೇಕು. ಅಜ್ಞಾನವು, ಜ್ಞಾನಕ್ಕಿಂತ ಎಂದಿಗೂ ಉತ್ತಮವೆನಿಸಲಾರದು. ಒಂದು ವೇಳೆ ನಾವು ಬಾಂಬನ್ನು ತಯಾರಿಸದೆ, ಅದರ

ಕುರಿತು ನಡೆಸಿದ ಸಂಶೋಧನಾ ವಿವರವನ್ನು ನಾಶಪಡಿಸಿಬಿಟ್ಟರೆ, ಮುಂದಿನ ಜನಾಂಗ ಅದನ್ನು ಮೊದಲಿನಿಂದ ಆರಂಭಿಸಿ ಸಾಧಿಸುವುದಿಲ್ಲವೆಂಬ ಭರವಸೆಯೇನಿದೆ ? ಎಂದೆಲ್ಲಾ ಫರ್ಮಿಯ ವಾದವಾಗಿತ್ತು. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಯುದ್ಧವನ್ನು ಬೇಗ ಕೊನೆಗೊಳಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತೆಂದು ಫರ್ಮಿ ಸೇರಿದಂತೆ ಕೆಲ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಅಭಿಪ್ರಾಯವಾಗಿತ್ತು.

ಯುದ್ಧ ಮುಗಿದ ಬಳಿಕ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ಯೋಜನೆಯಲ್ಲಿ ಕೆಲಸಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳೆಲ್ಲಾ ಅಮೇರಿಕೆಯ ವಿವಿಧ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಗಳಿಗೆ ಮೂಲಭೂತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸಲು ತೆರಳಿದರು. ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ, ಹರ್ಬರ್ಟ್, ಆಂಡರ್ಸನ್ ಮೊದಲಾದವರು ಷಿಕಾಗೋ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಕ್ಕೆ ಬಂದರು. ಷಿಕಾಗೋದಲ್ಲಿ 1946ರ ಮಾರ್ಚ್ 19ರಂದು ಒಂದು ಸರಳ ಸಮಾರಂಭ ನಡೆಯಿತು. ಅದರಲ್ಲಿ ಅಮೇರಿಕಾ ಯುದ್ಧದಲ್ಲಿ ವಿಜಯಿಯಾಗಲು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಮೂಲಕ ಸಹಾಯ ಮಾಡಿದುದಕ್ಕೆ ಐದು ಜನ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಜನರಲ್ ಲೆಸ್ಲಿ ಗ್ರೂವ್ಸ್ ಪದಕ ಪ್ರಧಾನ ಮಾಡಿದರು. ಹೆರಾಲ್ಡ್ ಯುರೆ, ಆಲಿಸನ್, ಸಿರಿಲ್ ಸ್ಮಿತ್, ರಾಬರ್ಟ್‌ಸ್ಟೋನ್ ಮತ್ತು ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ- ಇವರೇ ಆ ಪದಕ ಪಡೆದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು.

ಬಾಂಬಿನ ಮೂಲಕ ಪರಮಾಣು ತನ್ನೊಳಗೆ ಅಡಗಿದ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಚಯ ಮಾಡಿಕೊಟ್ಟಿತು. ಆದರೆ ಅದು ತನ್ನ ಸ್ವರೂಪದ ರಹಸ್ಯವನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಕೊಡಲಿಲ್ಲ. ಅಲ್ಲಿಯವರೆಗೆ ಪರಮಾಣು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನು ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನುಗಳಿದ್ದು, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಸುತ್ತುತ್ತವೆಂಬುದು ಮಾತ್ರ ಗೊತ್ತಾಗಿತ್ತು. ಅಂದರೆ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನು, ಪ್ರೋಟಾನು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳು ವಿಶ್ವಸೌಧದ ಮೂಲ ಇಟ್ಟಿಗೆಗಳೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ ಕೇವಲ ಧನವಿದ್ಯುದಾವಿಷ್ಟವಾಗಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನುಗಳು ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟಾರೆ ಅಡಕವಾಗಿರುವುದು ಹೇಗೆ ಸಾಧ್ಯ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಉತ್ತರ ಸಿಕ್ಕಿರಲಿಲ್ಲ. 1935ರಲ್ಲಿ ಜಪಾನಿನ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿ ಯುಕಾವಾ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ವರ್ತಿಸುವ ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯ ಬಲಗಳ

ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಿದ. ತನ್ನ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಯುಕಾವಾ ಹೊಸ ಕಣವೊಂದನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಯಿತು. ಅದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಇಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಳ ನಡುವಂತರದಲ್ಲಿರಬೇಕೆಂದು ಭಾವಿಸಿಕೊಂಡ. ಮತ್ತು ಆ ಕಣಕ್ಕೆ ಮೆಸಾನ್ (Meson) ಎಂದು ಕರೆದ. ಅನಂತರದಲ್ಲಿ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಮೆಸಾನ್‌ಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವವನ್ನು ಗುರುತಿಸಲಾಯಿತು. 1949ರಲ್ಲಿ ಯುಕಾವಾ ತನ್ನ ಮೆಸಾನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕಾಗಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿ ಪಡೆದ.

ವಿಶ್ವವಿಕಿರಣದಲ್ಲಿ ದೊರೆಯುವಂತಹ ಶಕ್ತಿಶಾಲಿ ಕಣಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವೆ ? ಎಂಬ ಯೋಚನೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಮೊಳೆಯಿತು. ಆಗಲೇ ಮೂಲಕಣಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವರ್ಧಿಸುವ ಸಾಧನಗಳ ಸೃಷ್ಟಿಯಾಗಿತ್ತು. ಅವುಗಳನ್ನು ಕಣ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಅವುಗಳ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಕಾರ್ಯವಿಧಾನಕ್ಕನುಗುಣವಾಗಿ ಅವಕ್ಕೆ ರೇಖೀಯ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ, ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್, ಬೀಟಾಟ್ರಾನ್, ಸಿಂಕ್ರೋಟ್ರಾನ್ ಮುಂತಾದ ಹೆಸರುಗಳು ಬಂದಿವೆ. ಲಾರೆನ್ಸ್ ಬರ್ಕ್ಲಿಯಲ್ಲಿ ಮೊಟ್ಟಮೊದಲ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದ. 1948ರಲ್ಲಿ ಅದರ ಸಹಾಯದಿಂದ ಮೆಸಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಯಿತು. ಷಿಕಾಗೋದಲ್ಲಿ ಕೂಡ ಒಂದು ದೈತ್ಯ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನನ್ನು ಹರ್ಬರ್ಟ್ ಆಂಡರ್ಸನ್ ನಿರ್ಮಿಸಿದ. ಐವತ್ತರ ದಶಕದಲ್ಲಿ ಅದರ ವೆಚ್ಚವೆಷ್ಟು ಗೊತ್ತೆ ? ಎರಡೂವರೆ ಮಿಲಿಯನ್ ಡಾಲರುಗಳು ! (ನಮ್ಮ ಈಗಿನ ರೂಪಾಯಿಯ ಮೌಲ್ಯದಲ್ಲಿ ಅದರ ಬೆಲೆ 1000ಕೋಟಿ ರೂಪಾಯಿಗಳಾಗುತ್ತದೆ.)

1951ರ ಸೆಪ್ಟೆಂಬರ್ 29ರಂದು ಫರ್ಮಿಯ ಐವತ್ತನೆಯ ಹುಟ್ಟುಹಬ್ಬ ಸರಳವಾಗಿ ನಡೆಯಿತು. ಅದಾದ ಮೂರು ತಿಂಗಳಿಗೆ ಷಿಕಾಗೊ ಸೈಕ್ಲೋಟ್ರಾನ್ ಕಾರ್ಯಾರಂಭಮಾಡಿತು. ಅಲ್ಲಿಯೂ ಮೆಸಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಯಿತು. ಫರ್ಮಿಯು ತನ್ನ ಆಸಕ್ತಿಯನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನುಗಳಿಂದ, ಮೆಸಾನುಗಳೆಡೆಗೆ ಹೊರಳಿಸಿದ. ಅವುಗಳ ತಾತ್ವಿಕ ಅಧ್ಯಯನ ನಡೆಸಿದ.

ಫರ್ಮಿ-ಡಿರ್ಯಾಕ್ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರ, ಬೀಟಾಕಣ ಉತ್ಸರ್ಜನೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ಇವು ಫರ್ಮಿಗೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಹೆಸರುತಂದುಕೊಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು. ಎನ್ರಿಕೊ ಫರ್ಮಿ ತನ್ನ 53ನೇ ವಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿಯೇ ಅಂದರೆ 1954ರಲ್ಲಿ ಕೊನೆಯುಸಿರೆಳೆದ.

ಫರ್ಮಿಯ ಬದುಕು ಅಲ್ಪಾವಧಿಯದೆಂದೇ ಹೇಳಬಹುದು. ಆದರೆ ಅಷ್ಟು ಅಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿಯೇ ತನ್ನ ಸಾಧನೆ-ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಮೂಲಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಗಾಢವೂ, ಸಚೇತನವೂ ಆದ ಬಿಂಬವನ್ನುಳಿಸಿ ಹೋಗಿದ್ದಾನೆ. ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಬಗ್ಗೆ ಆತನ ಅಭಿಪ್ರಾಯವನ್ನು ಒಪ್ಪದಿರಬಹುದು. ಆದರೆ ಆತನ ಅದ್ಭುತ ಕಲ್ಪನಾ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಮೆಚ್ಚದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ.

ಗ್ರಂಥ ಋಣ

1. Atoms in the Family - *Laura Fermi*
2. Source Book of Atomic Energy - *S. Glasstone*
3. Introduction to Atomic and Nuclear Physics - *H Semat*
4. Atomic Physics-*Max Born*
5. The Story of Atomic Energy - *Laura Fermi*
6. ವಿಜ್ಞಾನ ವಿಚಾರ - *ಪ್ರೊ. ಜೆ. ಆರ್. ಲಕ್ಷ್ಮಣರಾವ್*
7. Nuclear Physics - *Kaplan*
8. Modern College Physics - *H.E. White*
9. ಕನ್ನಡ ವಿಶ್ವಕೋಶ
10. Scientific American - *ಸಂಚಿಕೆಗಳು*

ವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಗಳ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಮನುಷ್ಯ ಕುಲವನ್ನೆಲ್ಲ ಒಂದಾಗಿ ಬೆಸೆಯುತ್ತಿವೆ. ಯಾವುದೇ ನಾಡಿನಲ್ಲಿ ಮನುಷ್ಯನು ಗೆದ್ದುಕೊಂಡ ಜ್ಞಾನವು ಇಡೀ ಮನುಕುಲಕ್ಕೆ ಸೇರಿದ ಸಂಪತ್ತಾಗಬೇಕು. ಇಂತಹ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಅರಗಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಓದುಗನಿಗೆ ಅದು ತನ್ನ ಭಾಷೆಯಲ್ಲೆ ಲಭ್ಯವಾಗಬೇಕು, ಅದನ್ನು ನಿರೂಪಿಸುವ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ ಭಾಷೆಯೂ ಬೆಳೆಯುತ್ತದೆ.

ನಾಡಿನ ಇಂದಿನ ಶೈಕ್ಷಣಿಕ ಮತ್ತು ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಕನ್ನಡಿಗರಿಗೆ ಅಗತ್ಯವಾದ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಿ ಅವನ್ನು ಸಮರ್ಥರಾದವರಿಂದ ಬರೆಸಿ ಪ್ರಕಟಿಸುವುದು ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರದ ಕರ್ತವ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು. ಈ ಯೋಜನೆಯನ್ನು ಕನ್ನಡ ಪುಸ್ತಕ ಪ್ರಾಧಿಕಾರವು ಸಂತೋಷದಿಂದ ಕೈಗೊಂಡಿದೆ.

ಈ ಮಾಲೆಯ ಪ್ರತಿಪುಸ್ತಕವು ಅಚ್ಚಿನಲ್ಲಿ 1/8 ಕಿರೀಟಾಕಾರದ ಸುಮಾರು 200 ಪುಟಗಳಷ್ಟು ಇರುತ್ತದೆ. ಸುಮಾರು 50 ಪುಟಗಳಷ್ಟು ಭಾಗದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಜೀವನ ಚರಿತ್ರೆಯನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಿ ಉಳಿದ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅವರ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಕಾರ್ಯ ಮತ್ತು ಸಾಧನೆಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಲಾಗುವುದು.

ಈ ಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಸಂತೋಷದಿಂದ ಕನ್ನಡಿಗರ ಕೈಯಲ್ಲಿಡುತ್ತಿದ್ದೇವೆ. ಈ ಮಾಲೆ ನಾಡು, ನುಡಿಗಳಿಗೆ ಅರ್ಪಿಸಿದ ನಂದಾದೀಪವಾಗಲಿ ಎಂದು ಹಾರೈಸುತ್ತೇವೆ.