ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಅನ್ವೇಷಣೆಯಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮದ ಸವಾಲುಗಳು

ಪ್ರವೀಣ್ ಕೆ. ಸಿ. ಮತ್ತು ನಿಶಿತ್ ಎ.
ವಿದ್ಯುತ್-ದ್ಯುತಿ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯ (ಲಿಯೋಸ್), ಇಸ್ರೋ, ಪೀಣ್ಯ ಕೈಗಾರಿಕ ವಲಯ, ಬೆಂಗಳೂರು.
kcp@leos.gov.in

1. ಗೋಷ್ವಾರೆ

ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈನಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಪ್ರಬಲ ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಅನೇಕ ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಗೊಂಡು ಅಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಪಸರಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳೆಂದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ಕಣ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ಗಾಮಾ-ಕಿರಣ, ಕ್ಷ-ಕಿರಣ, ಅತಿನೇರಳೆ ಕಿರಣಗಳು, ಅವಗೆಂಪು ಕಿರಣಗಳು, ಮುಂತಾದವು. ಈ ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿಕಿರಣಗಳಿಂದ ಮಾನವನ ದೇಹಕ್ಕೆ ಹಾನಿಯಲ್ಲದೆ ಉಪಗ್ರಹದ ಉಪಕರಣಗಳಿಗೂ, ಸಂವೇದಕಗಳಿಗೂ ತೀವ್ರ ತರವಾದ ಹಾನಿಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡುತ್ತವೆ. ವಿಕಿರಣಗಳ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಲು ವಿಕಿರಣ ಪ್ರತಿರೋಧಕ ವಿನ್ಯಾಸ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ ಪ್ರತಿರೋಧಕ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಸಂವೇದಕಗಳನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿ ಪಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಗಗನಯಾತ್ರಿಗಳ ಕವಚ ಮತ್ತು ವೀಕ್ಷಣಾ ಕಿಟಕಿಗಳಿಗೆ (view port) ವಿಕಿರಣ ನಿರೋಧಕ ತೆಳು ಪದರ ಲೇಪನ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ವಿಕಿರಣಗಳ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ಗಗನಯಾತ್ರಿಗಳು ವಿಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಮೈಯೊಡ್ಡಿದರೆ ಅವರ ಆರೋಗ್ಯ ಮತ್ತು ದೇಹದ ಮೇಲಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಬಹಳ ಗುರುತರವಾದವು. ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ ಹಾಗೂ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮಗಳಿಂದ ದೈಹಿಕ ಪರಿಣಾಮಗಳಲ್ಲದೆ ಮಾನಸಿಕ ಪರಿಣಾಮಗಳೂ ತೀವ್ರ ತರವಾದವು. ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮಗಳ ತೀವ್ರತೆಯನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಲು ಗಗನಯಾತ್ರಿಗಳಿಗೆ ದೈಹಿಕ ಧಾರ್ಡ್ಯತೆಯ ವ್ಯಾಯಾಮಗಳ ಅಭ್ಯಾಸ ನೀಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮ, ಮಾನಸಿಕ ಆರೋಗ್ಯ ಮತ್ತು ಇನ್ನಿತರೆ ವಿಕಿರಣ ಸಂಬಂಧಿ ಸವಾಲುಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಒಂದು ಪಕ್ಷಿ ನೋಟವೇ ಈ ಲೇಖನ.

2. ಪೀಠಿಕೆ

ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ ಜೀವಿಗಳಿಗೆ ಅನುಕೂಲಕರವಾದ ವಾತಾವರಣ ಪ್ರಕೃತಿ ಒದಗಿಸಿದೆ. ಭೂಮಿಯ ಮೇಲಿನ ತಾಪಮಾನ ಸರಿಸುಮಾರು -90°C ನಿಂದ $+60^{\circ}$C ಒಳಗೆ ಕಂಡುಬಂದರೆ, ವಾಯು ಭಾರ (Atmospheric Pressure) 101.325 kPa ನಷ್ಟು ಕಂಡು ಬರುತ್ತದೆ. ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿನ ತೇವಾಂಶ <1% ನಿಂದ 100% ವರೆಗೆ ದಾಖಲಾಗುತ್ತದೆ. ಭೂಮಿಯ ಸುತ್ತಲಿನ ಓಜೋನ್ ಪದರ ಅತಿನೇರಳೆ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ಶೋಧಿಸಿ ಉಪಯುಕ್ತ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಳಬಿಟ್ಟರೆ, ವ್ಯಾನ್ ಆಲನ್ ಪಟ್ಟಿಯು ಅಯಾನೀಕೃತ ಅಣುಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳನ್ನು (Electron) ಭೂಮಿಯ ವಾತವಾರಣ ಪ್ರವೇಶಿಸದಂತೆ ಅವುಗಳ ಪಥನವನ್ನು ತಿರುಚುತ್ತದೆ.

ಭೂಮಿಯ ವಾತಾವರಣದ ಹೊರಗೆ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಜೀವಿಸಲಸಾಧ್ಯವಾದ ವಾತಾವರಣವಿದ್ದು, ಆರೋಗ್ಯದ ಮೇಲೆ ಹೆಚ್ಚು ದುಷ್ಪರಿಣಾಮ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯನ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಮುಖ ಮಾಡಿದರೆ ತಾಪಮಾನವು $+200°C$ ತಲುಪಬಹುದು. ಅದೇ ಹಿಮ್ಮುಖ ಮಾಡಿದರೆ ತಾಪಮಾನವು $-200°C$ ತಲುಪುತ್ತದೆ. ಉಷ್ಣಾಂಶ ಸಮಸ್ಥಿತಿಗೆ ಬರಲು ವಹನ (Conduction) ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ (Radiation) ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಗಳು ಕಂಡುಬಂದರೆ, ನಿರ್ವಾತದ ಕಾರಣ ಸಂವಹನ (Convection) ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಕಾಣಸಿಗುವುದಿಲ್ಲ. ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ನಿರ್ವಾತದ ಪ್ರಮಾಣ 1×10^{-12} ರಿಂದ 1×10^{-14} *mbar* ನಷ್ಟು ಇದ್ದು ಉಸಿರಾಟಕ್ಕೆ ಗಾಳಿ ಇರದೆ ನಿರ್ವಾತದಲ್ಲಿ ಯಾವುದೇ ಜೀವಿಯ ದೇಹ ಅಸ್ಥಿರಗೊಂಡು ಜೀವ ಹಾನಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇವೆಲ್ಲಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ದುಷ್ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾದ ಅಂಶವೆಂದರೆ ಅದು ವಿಕಿರಣಗಳಿಂದಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು.

ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈನಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಪ್ರಬಲ ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ನಾನಾ ರೀತಿಯ ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಗೊಂಡು ಆಳಾಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಪಸರಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳು ಜೀವಿಗಳ ಮೇಲೆ ಪರಿಣಾಮ ಬೀರುವುದಲ್ಲದೆ, ಉಪಗ್ರಹದ ಉಪಕರಣಗಳಿಗೂ, ಸಂವೇದಕಗಳಿಗೂ ತೀವ್ರ ತರವಾದ ಹಾನಿಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಹಾನಿಕಾರಕ ವಿಕಿರಣಗಳ ಜನನದ ಮೂಲ ಮತ್ತು ವಿವಿಧ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮಗಳ ಬಗ್ಗೆ ಈ ಲೇಖನದಲ್ಲಿ ಚರ್ಚಿಸಲಾಗಿದೆ.

3. ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಗಳ ಜನನ ಮತ್ತು ವಿಧಗಳು

3.1 ವಿಕಿರಣಗಳ ಜನನ

ಶಕ್ತಿಯು ಕಿರಣಗಳ, ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ತರಂಗಗಳ ಅಥವಾ ಅಣುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹರಡುವುದೇ 'ವಿಕಿರಣ'. ಸೂರ್ಯನಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಜಲಜನಕ ಅಣುಗಳಿದ್ದು, ಸತತವಾಗಿ ಬೈಜಿಕ ವಿದಳನ (Nuclear Fission) ಮತ್ತು ಸಂಲಯನ (Nuclear fusion) ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಚಾಲ್ತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲೆ ಸುಮಾರು 5500°C ತಾಪಮಾನವಿರುತ್ತದೆ. ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದ ಅಯಾನೀಕೃತ ಅಣುಗಳು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳ ಚಲನೆಯಿಂದ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಚಲನೆಯಿಂದ ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ಅಣುಗಳು, ಕಣಗಳು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳು ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಉಗುಳಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಜಲಜನಕವು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಂಡಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರೋಟಾನಿನ ಚೈತನ್ಯ ಅಥವಾ ವಿಕಿರಣದ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ವರ್ಗೀಕರಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಅವು ದೃಗ್ಗೋಚರ ಬೆಳಕು (Visible light), ಅವಗೆಂಪು (Infra-red) ಅಥವಾ ಬರಿಗಣ್ಣಿಗೆ ಕಾಣದ, ಶೋಧಕಗಳಿಂದ ಕಾಣಸಿಗುವ ಕ್ಷ-ಕಿರಣಗಳು (X-rays) ಮತ್ತು ಗಾಮಾ-ಕಿರಣಗಳು. ಈ ಎಲ್ಲಾ ವಿಕಿರಣಗಳು ಜೈವಿಕ ವಸ್ತುಗಳಿಗಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಯಂತ್ರೋಪಕರಣಗಳ ಮೇಲೂ ನಕಾರಾತ್ಮಕ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಬೀರುತ್ತದೆ.

ವಿಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಯೇ ಒಂದು ರೋಚಕ ಅಧ್ಯಯನ. ಪ್ರಮುಖವಾಗಿ ಬೈಜಿಕ ವಿದಳನ, ಬೈಜಿಕ ಸಂಲಯನ ದಿಂದ ಅಣುಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಅಥವಾ ವಿದಳನ ಜೊತೆಗೆ ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿಕಿರಣಗಳೂ ರಚಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯ ಸಮತೋಲನದ (Energy-mass equivalent) ಮೇರೆಗೆ ವಿಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಅರ್ಥೈಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಐನ್ ಸ್ಟೈನ್ ನ ಸಾಪೇಕ್ಷತಾ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಮಹತ್ವದ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆ ನೀಡುತ್ತದೆ. ಶೂನ್ಯದಿಂದ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಅಥವಾ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಸಲಾಗದು. ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನು ಶಕ್ತಿಯನ್ನಾಗಿ ಅಥವಾ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯನ್ನಾಗಿ ವರ್ಗಾಯಿಸಬಹುದು. ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಅನುರೂಪ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿರೂಪವಾಗಿ ಸೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಗೋಚರವಾಗುತ್ತದೆ. ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಕೊರತೆಯು ಶಕ್ತಿಯ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ ಚೈತನ್ಯಯುಕ್ತ ಬೆಳಕು/ಕ್ಷ–ಕಿರಣ/ಗಾಮಾ–ಕಿರಣಗಳಾಗಿ ಸೃಷ್ಟಿಯಾಗುತ್ತವೆ.

ಸೂರ್ಯನೂ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರ ಎಂಬುದು ನಮಗೆಲ್ಲಾ ತಿಳಿದೇ ಇದೆ. ವಿಕಿರಣಗಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟ ಕಣಗಳು ಸೂರ್ಯನ ಮತ್ತು ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದ ಹಲವು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಮೂಲದಿಂದ ಬಂದವುಗಳು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು, ಸೌರ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಹೊರಸೂಸಲ್ಪಟ್ಟ ಕಣಭರಿತ ಕಿರಣಗಳು ಮತ್ತು ಗ್ರಹಗಳ ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಪರಸ್ಪರ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಬರುವ ದ್ವಿತೀಯಕ ಕಿರಣಗಳು ಮುಂತಾದವು. ಸಾವಿರಾರು ಜ್ಯೋತಿರ್ವರ್ಷಗಳ ದೂರದಿಂದ ಎಲ್ಲಾ ತರಹದ ಕಿರಣಗಳು ಅಂತರಿಕ್ಷದ ತುಂಬೆಲ್ಲಾ ಹರಡಿದ್ದರೆ, ಭೂಮಿಗೆ ಸನಿಹದ ನಕ್ಷತ್ರ – ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಬಹಳ ಚೈತನ್ಯಯುಕ್ತ ಕಿರಣಗಳು, ಕಣಗಳು, ಸೌರಮಂಡಲವನ್ನು ಆವರಿಸಿವೆ. ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲಿನ ಕಪ್ಪು ಚುಕ್ಕೆಗಳ (Sunspots) ಚಟುವಟಿಕೆಯಿಂದ ವಿಕಿರಣ ಹೊರಸೂಸುವಿಕೆ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಮೂಲಗಳ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ವರ್ಗೀಕರಿಸಲಾಗದೆ.

3.2 ವಿಕಿರಣ ವಿಧಗಳು

3.2.1 ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳು (Galactic Cosmic Rays)

ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳು ಸೌರ ಮಂಡಲದಿಂದಾಚೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಜೀವನ ಚಕ್ರದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ವಿವಿಧ ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳವುಗಳು ಮತ್ತು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಹತ್ತಿರವಾಗಿ ಸಂಚರಿಸುತ್ತವೆ. ಅತೀ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಸಂಚರಿಸುವಾಗ ಪರಮಾಣುಗಳು ಅಯಾನೀಕರಣಗೊಂಡು ತನ್ನ ಎಲ್ಲಾ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳನ್ನೂ ಕಳೆದುಕೊಂಡ ಉಚ್ಛ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಕಣಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಶೇಕಡ 85 ರಷ್ಟು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಇದ್ದರೆ, 14% ನಷ್ಟು ಹೀಲಿಯಂ ಅಣುಗಳು (ಅಯಾನೀಕೃತ) ಇದ್ದು, ಶೇಕಡ ಒಂದರಷ್ಟು ಇನ್ನಿತರ ಅಯಾನುಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 10^{20}eV ನವರೆಗೆ ಇರುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದೆ. ಈ ಅಪಾರ ಶಕ್ತಿಯು ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ಛೇದಿಸಿಕೊಂಡು ಹೋಗಲು ಅಣುಗಳಿಗೆ ಅನುವು ಮಾಡಿ ಕೊಡುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಅಣುವಿನಿಂದ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣವನ್ನು ತೆಗೆಯಲು ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಗೆ 'ಅಯಾನೀಕರಣ ಶಕ್ತಿ' (Ionization energy)

ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತಾರೆ. ಜಲಜನಕದ ಅಣುವಿನಿಂದ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣವನ್ನು ತೆಗೆಯಲು 13.6eV ಯಷ್ಟು ಶಕ್ತಿ ಸಾಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗಾದಲ್ಲಿ 10^{20}eV ರಷ್ಟು ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿ ತೀವ್ರ ಹಾನಿಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡಬಲ್ಲದು. ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಕಬ್ಬಿಣದವರೆಗಿರುವ ಎಲ್ಲಾ ಧಾತುಗಳ (Element) ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಲಾಗಿದೆ. ಕಬ್ಬಿಣಕ್ಕಿಂತ ಭಾರವಾದ ಧಾತುಗಳು ಕಾಣಸಿಗುವುದು ವಿರಳ. ಇವುಗಳು ಗಗನಯಾತ್ರಿಕನ ದೇಹವನ್ನು ಹಾಗು ಗಗನ ನೌಕೆಗಳನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ಹಾದು ಹೋಗಬಹುದು [1].

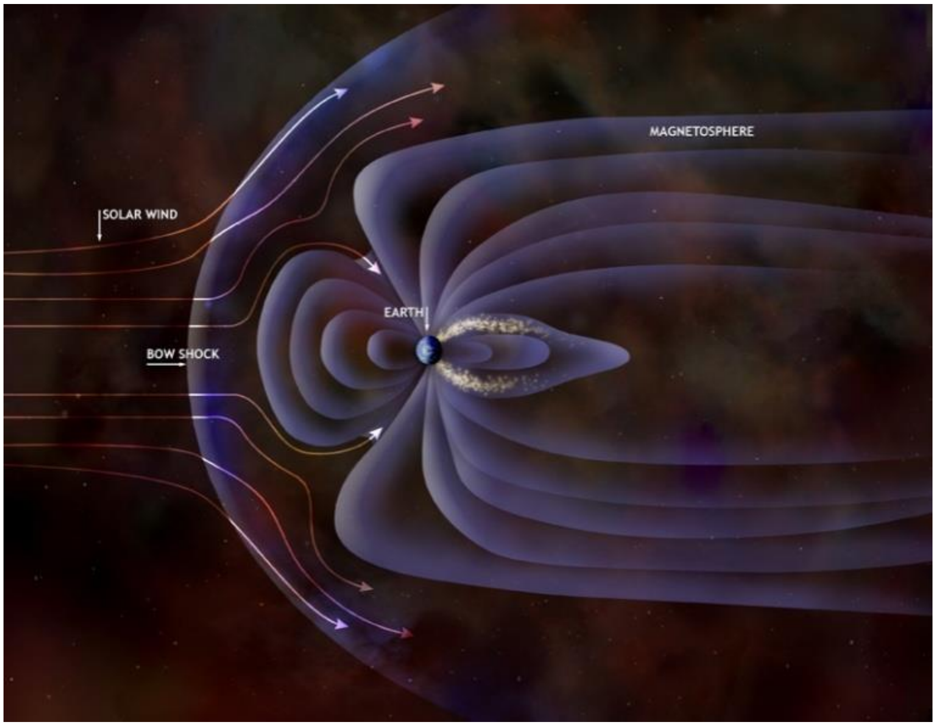
3.2.2 ಸೌರ ವಿಕಿರಣಗಳು (Solar Radiation)

ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಾದ ಪರಮಾಣು ಸಂಲಯನ, ವಿದಳನ ಕ್ರಿಯೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್ – ಪ್ರೋಟಾನ್ ಬೈಜಿಕ ಕ್ರಿಯೆ ಮತ್ತು ಸೂರ್ಯನ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ಹೊರಬರುವ ಕಿರೀಟ ದ್ರವ್ಯ ಉತ್ಪಾಟನೆ (Coronal Mass Ejection) ಸೂರ್ಯನ ಗರ್ಭದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ನಿರಂತರ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳು. ಈ ಎಲ್ಲಾ ಚಟುವಟಿಕೆಗಳಿಂದ ಅಪಾರ ಪ್ರಮಾಣದ ವಿಕಿರಣಗಳು ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಹೊರಬರುತ್ತವೆ. ಅವು ಎಲ್ಲಾ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲೂ ಪಸರಿಸುತ್ತವೆ. ಸೌರ ಕಿರೀಟದಲ್ಲಿರುವ (corona) ಪ್ಲಾಸ್ಮಾ ಶಕ್ತಿಶಾಲಿ ಕಣಗಳು ಶಬ್ಧದ ವೇಗಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಲ್ಲಿ (Supersonic) ಚಿಮ್ಮುತ್ತವೆ. ಈ ಎಲ್ಲಾ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಬಂದ ವಿಕಿರಣಗಳು ಸೇರಿ 'ಸೌರ ಮಾರುತ' (Solar Wind) ಎನಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ [2]. ಸೌರ ಮಾರುತದಿಂದ ಬರುವ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಮೆಗಾ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್ (MeV) ನಿಂದ ಗಿಗಾ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್ (GeV) ವರೆಗೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಬೇರೆ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಸೂರ್ಯ ಭೂಮಿಗೆ ತುಂಬಾ ಹತ್ತಿರದಲ್ಲಿ ಇರುವುದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಯುತ ಅಣುಗಳು ಮತ್ತು ಅಯಾನುಗಳು ಭೂಮಿಯನ್ನು ಬೇಗ ತಲುಪುತ್ತವೆ ಹಾಗು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ತಲುಪುತ್ತವೆ. ಅಣುಗಳ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಫ್ಲೂಯೆನ್ಸ್ (Fluence) ನಿಂದ ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಡೋಸ್ (Dose) ನಿಂದ ನಿರ್ದೇಶಿಸಲಾಗಿದೆ. MeV ಮತ್ತು GeV ಯಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಈ ಅಯಾನುಗಳು ಸುಲಭವಾಗಿ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಆಳವಾಗಿ ಹೊಕ್ಕು ಭಾರಿ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ತನ್ನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೇರಬಲ್ಲವು. ಹಾಗೆ ಮನುಷ್ಯನ ದೇಹವನ್ನು ಅವು ಹಾದು ಹೋಗಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಉಪಕರಣಗಳಿಗೆ ಮತ್ತು ಮಾನವನ ದೇಹಕ್ಕೆ ತೀವ್ರ ಹಾನಿ ಆಗುತ್ತದೆ.

3.2.3 ಸೆರೆಯಾದ ವಿಕಿರಣಗಳು (Trapped radiation)

ಚಲನಶೀಲ ಭೂಗರ್ಭದಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಸುತ್ತ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿದೆ. ಕಾಂತೀಯ ರೇಖೆಗಳು ಭೂಮಿಯ ಉತ್ತರ ಧ್ರುವದಿಂದ ದಕ್ಷಿಣ ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಕಮಾನು ಆಕಾರದಲ್ಲಿ ಭೂಗೋಳದ ಸುತ್ತ ಹರಡಿದೆ. ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಸೌರಮಾರುತದ ಕಣಗಳು ಮತ್ತು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು ಸೆರೆಯಾಗಿ ವಿಕಿರಣ ಪಟ್ಟಿಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು 'ವ್ಯಾನ್ ಆಲನ್ ಬೆಲ್ಟ್' ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ಅಯಾನೀಕೃತ ಅಣುಗಳು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ

ಭೂಮಿಯನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸದೇ ಅಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ನೂಕಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಈ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ ಉತ್ತರ ಮತ್ತು ದಕ್ಷಿಣ ಧ್ರುವಗಳಲ್ಲಿ ಭೂಮಿಯನ್ನು ಸೇರುವುದರಿಂದ ಅಯಾನಿಕೃತ ಅಣುಗಳು ಧ್ರುವಗಳಲ್ಲಿ ಭೂಮಿಯನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತವೆ. ತೀಕ್ಷ್ಣ ಸೌರ ಚಟುವಟಿಕೆಯ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಹೀಗೆ ಭೂಮಿಯ ವಾತಾವರಣವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿಸದಾಗ 'ಧ್ರುವಪ್ರಭೆ' (Aurora) ಕಾಣಸಿಗುತ್ತವೆ. ದಕ್ಷಿಣ ಧ್ರುವದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಧ್ರುವಪ್ರಭೆಗೆ 'ದಕ್ಷಿಣ ಧ್ರುವಪ್ರಭೆ' (Aurora Australis) ಹಾಗು ಉತ್ತರ ಧ್ರುವದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಧ್ರುವಪ್ರಭೆಗೆ 'ಉತ್ತರ ಧ್ರುವಪ್ರಭೆ' (Aurora Borealis) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ಒಟ್ಟಾರೆ, ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ನೂಕಲ್ಪಟ್ಟ ಹಾಗೂ ಭೂ ವಾತವಾರಣ ಪ್ರವೇಶಿಸದ ಅಣುಗಳಲ್ಲದೆ, ಕಾಂತೀಯ ರೇಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಬಹು ಸಮಯದವರೆಗೆ ಸಿಲುಕಿಕೊಂಡು ಭೂಮಿಯ ಚಲನೆಯೊಂದಿಗೆ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ಅಣು–ಕಣಗಳನ್ನು ಸೆರೆಯಾದ ವಿಕಿರಣಗಳೆಂದು ವರ್ಗೀಕರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಹೀಗೆ ಶೇಖರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಣಗಳು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದಲ್ಲಿ ನೂರರಿಂದ ಸಾವಿರಾರು ಕೀಲೋ ಮೀಟರ್ ವರೆಗೆ ಪಸರಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಈ ಸೆರೆಯಾದ ವಿಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಗಳು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಕಂಡು ಬರುತ್ತವೆ [1]. ಇದರಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಸುತ್ತ ಇರುವ ವಿವಿಧ ಕಕ್ಷೆಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಕೋಷ್ಟಕ – 1 ರಲ್ಲಿ ಪಟ್ಟಿ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ – 1 : ಭೂಮಿಯ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರ

ಕಕ್ಷೆ	ಕಕ್ಷೆಯ ದೂರ (km)	ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣ (ಒಂದು ವರ್ಷದಲ್ಲಿ)
ಕೆಳ ಕಕ್ಷೆ (LEO)	500–2,000	20 krad (200 Sieverts, Sv)
ಮಧ್ಯಮ ಕಕ್ಷೆ (MEO)	2,000–30,000	600 krad (6000 Sieverts, Sv)
ಭೂಸ್ಥಿರ ಕಕ್ಷೆ (GEO)	30,000–36,000	60 krad (600 Sieverts, Sv)

ಕೋಷ್ಟಕ – 1 : ಭೂಮಿಯ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರ.

4. ಭೌತವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮ

ವಿಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ (No charge) ಮತ್ತು ಅಯಾನೀಕೃತ/ವಿದ್ಯುದಾವೇಶಾತೀತ ಕಣಗಳ (Ionized/charged particles) ಪರಿಣಾಮ ಭೌತವಾಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ವಿಭಿನ್ನವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶ ಕಣಗಳು ಭೌತವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿನ ಅಣುಗಳ ಸ್ಥಾನ ಪಲ್ಲಟ (Displacement damage) ಮಾಡಿದರೆ, ವಿದ್ಯುದಾವೇಶಾತೀತ ಕಣಗಳು ಅಣುಗಳಲ್ಲಿನ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳ ಸ್ಥಾನ ಪಲ್ಲಟ ಮಾಡುವುದು. ಇದರಿಂದ ಕಣಗಳು ಹಾದು ಹೋದ ಪಥದಲ್ಲಿ ಕೊಳವೆಯಾಕಾರದ ಅಯಾನೀಕೃತ ಹಾನಿ (Ionization damage) ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಸೃಷ್ಟಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿ ಕುಂದಿದ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೆ ಅಣುಗಳ ಸ್ಥಾನ ಪಲ್ಲಟ ಉಂಟಾಗುವುದು. ವಿದ್ಯುತ್ಕಣ ಮತ್ತು ಅಣುಗಳ ಸ್ಥಾನ ಪಲ್ಲಟದಿಂದ ಭೌತವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿನ ಭೌತಕ ಗುಣಗಳು ಕ್ಷೀಣಿಸುತ್ತದೆ ಅಥವಾ ಶಾಶ್ವತವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತವೆ.

5. ವಿಕಿರಣಗಳಿಂದ ಮಾನವನ ಮೇಲಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು

ಒಂದು ಮದ್ದು ಗುಂಡಿನಿಂದ ಒಬ್ಬ ವ್ಯಕ್ತಿಯನ್ನು ಹತ್ಯೆಗಯ್ಯಬಹುದು. ಬಾಂಬಿನಿಂದ ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿ ಜನರನ್ನು ಹತ್ಯೆಗಯ್ಯಬಹುದು. ಅಕಸ್ಮಾತಾಗಿ ಬದುಕುಳಿದವರು ಜೀವಂತ ಶವಗಳಂತೆ ಬದುಕಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಷ್ಟು ಭೀಕರ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ವಿಕಿರಣಗಳು ಮನುಷ್ಯ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಣಿಗಳ ಜೀವ/ಜೀವನದ ಮೇಲೆ ಬೀರುತ್ತದೆ. ಅಣುಬಾಂಬಿನ ಸ್ಫೋಟದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ವಿಕಿರಣ ಸ್ಫೋಟ ಅಥವಾ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿಕಿರಣ ಸೋಕಿದಾಗ ಒಬ್ಬ ವ್ಯಕ್ತಿಯಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಆ ವ್ಯಕ್ತಿಯಿಂದ ಬರುವ ಸಂತತಿಗೆಲ್ಲಾ ಅನುವಂಶೀಯವಾಗಿ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮ ಕ್ಷೋಭೆ ತರುತ್ತದೆ.

ಮಾನವನ ದೇಹಕ್ಕೆ ಸೋಕಬಹುದಾದ ವಿಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಸೀವರ್ಟ್ಸ್ ನಲ್ಲಿ (Sieverts, Sv) ಮಾಪನ ಮಾಡಲಾಗುವುದು. ವಾರ್ಷಿಕವಾಗಿ ಮಾನವನ ದೇಹಕ್ಕೆ 1 mSv ನಷ್ಟು ವಿಕಿರಣ ಸೋಕಿದರೂ ಆತ

ಕ್ಷೇಮವಾಗಿರಬಲ್ಲ. ವಿಕಿರಣ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲಸಮಾಡುವ ಕಾರ್ಮಿಕರಿಗೆ, ತಂತ್ರಜ್ಞರಿಗೆ ಮತ್ತು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಈ ಸ್ಥರವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿ 5 ವರ್ಷಗಳ ಸರಾಸರಿಯಲ್ಲಿ 20 mSv ದಾಟಬಾರದು ಎಂಬ ನಿರ್ಬಂಧವಿದೆ. ಅಣು ಸ್ಥಾವರಗಳಲ್ಲಿ, ವೈದ್ಯಕೀಯ ತಪಾಸಾಣೆಗಳಲ್ಲಿ, ವಿಕಿರಣ ಔಷದ ತಯಾರಿಯಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಯ ನಿರ್ವಹಿಸುವವರಿಗೆ ಮತ್ತು ಗಗನ ಯಾತ್ರಿಗಳಿಗೂ 20 mSv ನಷ್ಟು ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣ ಮಿತಿಯನ್ನು ನಿಗದಿಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಅಪಾಯದ ಪ್ರಮಾಣ ಎಂದರೆ 100 mSv ನಷ್ಟು ವಿಕಿರಣ ಸೋಕುವುದರಿಂದ ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ, 700 mSv ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸೋಕಿದರೆ ವಿಕಿರಣಸೋಂಕಿನ ಅಸ್ವಸ್ಥತೆಯ ಲಕ್ಷಣಗಳು – ತಲೆಸುತ್ತು, ವಾಂತಿ, ಹಸಿವಾಗದಿರುವುದು, ಸುಸ್ತು, ನಿಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮುಖವಾದವು. >3000 mSv (>3 Sv) ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣ ಸೋಕಿದರೆ ವೈದ್ಯಕೀಯ ಚಿಕಿತ್ಸೆಯೂ ಫಲಿಸದ ಹಂತ ತಲುಪುತ್ತದೆ.

ಗಾಮಾ ಕಿರಣ ಮಾನವನ ದೇಹ ಸೋಕಿದಾಗ ಆಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳ ಹೋಲಿಕೆಯಲ್ಲಿ, ಉಚ್ಚ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಅಥವಾ ಕಬ್ಬಿಣದ ಅಯಾನುಗಳು ಸೋಕಿದಾಗ ಆಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಗುರುತರವಾದವು. ಈ ಅಯಾನುಗಳಿಂದ ಹೇಮಟೊಪೊಯಸಿಸ್ ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಜೀನ್ಸ್ ನಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಬಹುದು [3]. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ತಂಡ ಈ ಬಗ್ಗೆ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದ್ದಾರೆ. ಒಂದು ತಂಡ ಮದ್ಯ ವಯಸ್ಸಿನ ಇಲಿಯ ದೇಹವನ್ನು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸಮಯದವರೆಗೆ ಕಬ್ಬಿಣದ ಅಯಾನುಗಳಿಗೆ ಒಡ್ಡಿದರು. ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಮಾನವನು ಹೆಚ್ಚು ಕಾಲ ಅಂತರಿಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಸಂಚರಿಸಿದರೆ, ಆತನ ಮೆದುಳಿನ ಆರೋಗ್ಯ ಹಾಗು ಗ್ರಹಿಕಾ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ತೊಂದರೆಯಾಗುತ್ತದೆ ಎಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ [4]. ಇನ್ನೊಂದು ತಂಡವು ಗಗನಯಾತ್ರಿಗಳ ಮೇಲೆ ವಿಕಿರಣದಿಂದಾಗುವ ದೀರ್ಘಕಾಲದ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಕುರಿತು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿದಾಗ ತಿಳಿದುದ್ದೇನೆಂದರೆ, ಮಾನವನು ಪ್ರೋಟಾನಿಗೆ ಒಡ್ಡಿಕೊಂಡರೆ ಅದರಿಂದ ಅವನ ಸ್ನಾಯುಗಳ ಚಲನಶೀಲತೆ ಮತ್ತು ಕೇಂದ್ರ ನರಮಂಡಲಕ್ಕೆ ಹಾನಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಶ್ವಕಿರಣದ ಉಚ್ಚ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ ಇರುವ ಧಾತುಗಳು ದೇಹವನ್ನು ಸೋಕುವುದರಿಂದ ಡಿಎನ್‌ಎಗೆ ಹಾನಿಯಾಗುತ್ತದೆ [5, 6].

ನಾಸಾ ಸಂಸ್ಥೆಯು ಮಾನವನ ಆರೋಗ್ಯದ ಮೇಲಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿ ಇದರಿಂದ ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ ವೈರಾಣುಗಳ ಜನನ (Carcinogenesis), ವಿಕೃತ ಅಂಗಾಂಶಗಳ ಬೆಳವಣಿಗೆ, ಒಂದು ಮಿಷನ್ನಿನ ನಡುವೆ ಮತ್ತು ಮುಗಿದ ನಂತರ ನರಮಂಡಲಕ್ಕಾಗುವ ಹಾನಿ ಮತ್ತು ತೀವ್ರ ವಿಕಿರಣಾ ಲಕ್ಷಣಾವಳಿಗಳನ್ನು ಜಾಲತಾಣದಲ್ಲಿ ಹಾಗೂ ಅನೇಕ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಪ್ರಕಟಣೆಗಳಲ್ಲಿ ದಾಖಲಿಸಿದ್ದಾರೆ [7].

6. ವಿಕಿರಣದಿಂದ ಉಪಗ್ರಹದ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೇಲಾಗುವ ಪರಿಣಾಮ

ಅರೆವಾಹಕಗಳಿಂದ (Semiconductor) ತಯಾರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ವಿದ್ಯುದಾಂಕ ಶತ್ಪತಗಳಲ್ಲಿ (Electronic Circuit) ಪ್ರಮುಖವಾಗಿ ಕಾರ್ಯ ನಿರ್ವಹಿಸುವ ಸಾಧನಗಳೆಂದರೆ ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕಗಳು (Transistor). ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು

ಬಗೆ: ದ್ವಿ–ಧ್ರುವ ಸಂಧಿತ ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕ (Bipolar Junction Transistor) ಮತ್ತು ಕ್ಷೇತ್ರಪ್ರಭಾವಳಿ ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕ (Field Effect Transistor). ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕಗಳನ್ನು ಅರೆವಾಹಕ ಸಂಸ್ಕರಣಾ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಿಂದ (Semiconductor processing) ತಯಾರಿಸಲಾಗಿರುತ್ತದೆ, ಮತ್ತದರಲ್ಲಿ Si, Ge, Ga, As ಮುಂತಾದ ಅರೆವಾಹಕಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಸಂಸ್ಕರಣಾ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಆಮ್ಲಜನಕಯುಕ್ತ ಪದರಗಳಾದ SiO_2 ಅಥವಾ Al_2O_3 ಆವಾಹಕಗಳ ಬಳಕೆ ಸಾಧನದ ಸಂಧಿತ (Junction) ಭಾಗಗಳನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸುತ್ತವೆ. ವಿಕಿರಣ ಬಿದ್ದಲ್ಲಿ ಅಯಾನಿಕೃತ ಹಾನಿಯಿಂದಾಗಿ ಋಣಾತ್ಮಕ (Electron) ಮತ್ತು ಧನಾತ್ಮಕ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣ (Holes) ಜೋಡಿಯನ್ನು (Electron-hole pairs) ಮೂಲ ಅಣುಗಳಿಂದ ಬೇರ್ಪಡುತ್ತವೆ ಮತ್ತು ಸಂಧಿತ ಭಾಗ ವೃದ್ಧಿಸುತ್ತದೆ ಅಥವಾ ಹರಡುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕದ ಬೇಸ್ ತಂತು ಅಥವಾ ಡ್ರೇನ್ ತಂತುವಿನಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಹಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾರಣಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕ ಕ್ರಮೇಣವಾಗಿ ವಿಫಲವಾಗುತ್ತದೆ.

ಅರೆವಾಹಕ ಸಾಧನಗಳಲ್ಲಿ ಆಗುವ ವೈಫಲ್ಯಗಳನ್ನು ಹಲವು ವಿಧಗಳಲ್ಲಿ ವಿಂಗಡಿಸಲಾಗಿದೆ.

* ಸಂಕಲಿತ ಪ್ರಮಾಣ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮ (Total Ionizing Dose - TID) : ಗಾಮಾ, ವಿದ್ಯುತ್ಕಣ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ವಿಕಿರಣದಿಂದಾಗುವ ಅಯಾನೀಕೃತ ಹಾನಿಯು e-h ಜೋಡಿಯನ್ನು ಸೃಷ್ಟಿಸುತ್ತದೆ. ಪಲ್ಲಟಗೊಂಡ ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳು ಇನ್ನಷ್ಟು ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳನ್ನು ಅಯಾನೀಕರಿಸಿ (Compton electrons) ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಸಿಲಿಕಾನ್ ಅಣುಗಳ ಸ್ಥಾನ (Displacement damage) ಪಲ್ಲಟವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣದಿಂದಾಗುವ ಹಾನಿಗೆ TID ಎಂದು ವರ್ಗೀಕರಿಸಲಾಗಿದೆ.

* ಏಕ ಸಂಗತಿ ಪರಿಣಾಮ (Single Event Effect - SEE) : ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿದ್ಯುದಾವೇಶಾತೀತ ಅಣುಗಳು ಅಪ್ಪಳಿಸಿದಾಗ ಉದ್ಭವವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳಿಂದ ಆಗುವ ಕಾರ್ಯ ದೋಷಕ್ಕೆ SEE ಎಂದು ವರ್ಗೀಕರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಕಾರ್ಯ ದೋಷಗಳು ಮೃದು ದೋಷಿತ (Soft error) ಮತ್ತು ಕ್ಲಿಷ್ಟ ದೋಷಿತ (Hard error) ಎಂದು ವಿಭಜಿಸಬಹುದು. ಮೃದು ದೋಷಿತ ಶಕ್ತಪತಗಳನ್ನು ಹಾನಿಯಿಂದ ಚೇತರಿಸಬಹುದು (Single Event Upset), ಆದರೆ ಕ್ಲಿಷ್ಟ ದೋಷಿತ (Single Event Latch up) ಶಕ್ತಪತಗಳನ್ನು ಹಾನಿಯಿಂದ ಚೇತರಿಸುವುದು ಅಸಾಧ್ಯ ಅಥವಾ ಕಷ್ಟಸಾಧ್ಯ.

7. ವಿಕಿರಣ ನಿರೋಧಕ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ

ಒಬ್ಬ ಗಗನಯಾತ್ರಿಯನ್ನು ಅವನು ತೊಡುವ ಅಂತರಿಕ್ಷ ಉಡುಪು ಆತನನ್ನು ಎಷ್ಟರ ಮಟ್ಟಿಗೆ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮಗಳಿಂದ ಕಾಪಾಡಬಲ್ಲವು? ಅಂತರಿಕ್ಷ ನಿಲ್ದಾಣ ಅಥವಾ ನೌಕೆಗಳಿಗೆ ಯಾವ ವಸ್ತುವನ್ನು ಬಳಸಿದರೆ ವಿಕಿರಣದಿಂದಾಗುವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಬಹುದು? ಈ ಎಲ್ಲವನ್ನೂ ತಿಳಿಯುವುದು ಅತ್ಯವಶ್ಯಕ.

ಗಗನಯಾತ್ರಿಗಳನ್ನು ಅಥವಾ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣಗಳಿಂದ ರಕ್ಷಿಸುವ ರಕ್ಷಣಾ ಕವಚದಲ್ಲಿ ಬಳಸುವ ವಸ್ತುಗಳ ಜೊತೆ ವಿಕಿರಣಗಳು ಪ್ರತಿಕ್ರಯಿಸಿದಾಗ ದ್ವಿತೀಯಕ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಉತ್ಪಾದಿತ

ಕಣಗಳು ನೌಕೆಯ ರಕ್ಷಾ ಕವಚ ದಪ್ಪವಾಗಿರದಿದ್ದರೆ ಅವು ನೌಕೆಯನ್ನು ದಾಟಿ ಗಗನಯಾತ್ರಿಗಳ ಮೈ ಹೊಕ್ಕಿದರೆ, ಆತನ ಆರೋಗ್ಯಕ್ಕೆ ತೀವ್ರ ಹಾನಿಕಾರಕ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು ಅಪಕರ್ಷಿಸವುದು (Attenuation) ಒಂದು ಸವಾಲು.

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಂತಹ ಕಣಗಳನ್ನು ಜಲಜನಕ ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ತಡೆಗಟ್ಟಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ ಕ್ಷ-ಕಿರಣ ಅಥವಾ ಗಾಮಾ–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉಚ್ಛ ವಿದ್ಯುತ್ಕಣ ಸಾಂದ್ರತೆ ಇರುವ ಸೀಸದಂತಹ ವಸ್ತುವನ್ನು ಬಳಸಿ ತಡೆಗಟ್ಟಬಹುದು. ಹಗುರ ಪರಮಾಣುಗಳಾದ ಜಲಜನಕ ಅಥವಾ ಇಂಗಾಲ ಇರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಅಪಕರ್ಷಣಾ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಪ್ರಯೋಜನಕಾರಿ. ಹಾಗಾಗಿ ರಕ್ಷಣಾ ಕವಚಕ್ಕೆ ಪಾಲಿಎತಲೀನ್ ಆಧಾರಿತ ವಸ್ತುಗಳು ಸೀಸ ಅಥವಾ ಅಲ್ಯುಮಿನಾಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿ. ಪಾಲಿಮರ್ ಅಥವಾ ಪಾಲಿಎತಲೀನ್ ಅಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೇ ಇಂಗಾಲ ಆಧಾರಿತ ವಸ್ತುಗಳೂ ಉತ್ತಮ ನಿರೋಧಕವಾಗಿದೆ. ಶುದ್ಧ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ಅಲ್ಯುಮಿನಾಕ್ಕಿಂತ ಉತ್ತಮ ರೀತಿಯ ವಿಕಿರಣ ನಿರೋಧಕವಾಗಿದೆ [8, 9]. ಇದರ ಜೊತೆಗೆ ಗಗನಯಾತ್ರಿ ನೌಕೆಯ ಕಿಟಕಿಗಳಿಗೆ ಮತ್ತು ಗಗನ ಯಾತ್ರಿಗಳು ಬಳಸುವ ಶಿರಸ್ತ್ರಾಣಗಳಿಗೆ ವಿಕಿರಣ ನಿರೋಧಕ ತೆಳು ಪದರಲೇಪನ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಸ್ವಲ್ಪ ಮಟ್ಟಿಗೆ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ತಡೆಯಬಹುದು.

ವಿದ್ಯುತ್ ಸಾಧನಗಳ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಾಂಕ ಶಕ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಆಗುವ ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಿಸಲು ವಿಭಿನ್ನ ತಂತ್ರಗಳನ್ನು ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ ಸಾಧನಗಳ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ನಿರೋಧಕ ವಿನ್ಯಾಸ (Radiation hard by design) ಅಳವಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ವಿದ್ಯುನ್ನಿಯಂತ್ರಕದಲ್ಲಿ ಮುಚ್ಚಿದ ಗೇಟ್ (Enclosed gate layout) ವಿನ್ಯಾಸದಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಸೋರುವಿಕೆ (Leakage current) ತಡೆಗಟ್ಟಬಹುದು. ವಿದ್ಯುದಾಂಕ ಶಕ್ತಗಳಲ್ಲೂ ವಿಕಿರಣ ಗಡಸು ವಿನ್ಯಾಸ ತಂತ್ರಗಳನ್ನು ಆಭಿವೃದ್ಧಿಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಅಧಿಕ ಪುಷ್ಟಿ ಕೊಡಲು ಅರೆವಾಹಕ ಸಂಸ್ಕರಣಾ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವಿಕಿರಣ ಗಡಸು ಸಂಸ್ಕರಣಾ ಕ್ರಿಯೆಗಳ (Radiation hard by process) ರೂಪುರೇಷೆಗಳುಂಟು ಉದಾಹರಣೆಗೆ Si ಮತ್ತು SiO_2 ಸಂಧಿಸುವಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ದೋಷಿತ ಹರಡುವಿಕೆಯನ್ನು ತಡೆಯಲು $Si/Si_3N_4/SiO_2$ ಪದರಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದಲ್ಲಿ ಹರಡುವಿಕೆಯನ್ನು ತಗ್ಗಿಸಬಹುದು.

ಅಲ್ಲದೆ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೇಲೆ ಬಾಹ್ಯ ಹೊದಿಕೆ (shielding) ಹಾಗು ಪರ್ಯಾಯ ಶಕ್ತ ಮಾರ್ಗ ಉಳ್ಳ (redundant) ವಿನ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸುತ್ತಾರೆ. ಯಾವುದೇ ಶಕ್ತಗಳ ದತ್ತಾಂಶವು ತಂತ್ರಾಂಶದ ಮೂಲಕ ಉಪಯೋಗವಾಗುವುದರಿಂದ, ವಿಕಿರಣ ಕಾರಣದಿಂದಾಗಿ ತಂತ್ರಾಂಶ ಲೋಪಗಳನ್ನು ತಡೆಗಟ್ಟಲು ಹಲವು ತಂತ್ರಗಳು ಚಾಲ್ತಿಯಲಿವೆ. ತಂತ್ರಾಂಶದಲ್ಲೂ ಅಂಕಗಣಿತ ಹಾಗು ತಾಂತ್ರಿಕ ಕ್ರಮಗಳು ತಪ್ಪು ತಿದ್ದುವ ಕೋಡ್ ಗಳು (Error Correction Code) ಮತ್ತು ತ್ರಿವಳಿ ಪರ್ಯಾಯ ವ್ಯವಸ್ಥೆ (triple modular redundancy - TMR) ತಂತ್ರಜ್ಞಾನಗಳನ್ನು ಬಳಸುವ ಮೂಲಕ ದೋಷ ಪತ್ತೆ ಹಾಗೂ ತಿದ್ದುಪಡಿ ಕ್ರಮಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಲಾಗುತ್ತದೆ. ತ್ರಿವಳಿ ಪರ್ಯಾಯ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತ ಅಥವಾ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳನ್ನು ಮೂರು ಪರ್ಯಾಯ ಆವೃತ್ತಿಗಳಾಗಿ

ನಿಯೋಜಿಸಲಾಗಿರುತ್ತದೆ. ನಿಖರ ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನು ನಿರ್ದರಿಸಲು ಬಹುಮತ ಮತದಾನ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣದಿಂದಾಗುವ ದೋಷಗಳ ನಿರ್ವಹಣೆ ಮತ್ತು ಪತ್ತೆಗೆ ಡೈನಮಿಕ್ ಲಾಕ್ಷಣಿಕ ದೋಷ ಪತ್ತೆ ಮತ್ತು ತಿದ್ದುಪಡಿ (Dynamic characterisation error detection and correction – EDAC) ತಂತ್ರಗಳು ಪ್ರಮುಖವಾಗಿ ಕಾರ್ಯನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತವೆ.

ಈ ಎಲ್ಲಾ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನು ಅಥವಾ ಅದರ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಕೊಂಚ ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಬಹುದೇ ಹೊರತು. ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ನಿಲ್ಲಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ [10].

8. ಸಾರಾಂಶ

ವಿಕಿರಣ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಅರ್ಥೈಸಿಕೊಂಡು ತಂತ್ರಜ್ಞಾನವನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿ ಪಡಿಸಿ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಹಿಮ್ಮೆಟ್ಟಿ ಅಂತರಿಕ್ಷ ಪರಿವೀಕ್ಷಣೆ ಮಾಡುತ್ತಿರುವುದು ಒಂದು ಸವಾಲೆ ಸರಿ. ಇನ್ನೂ ಮುಂದುವರೆದು ಮಂಗಳನಲ್ಲಿ ವಾಸ್ತವ್ಯ ಹೂಡಲು, ಚಂದ್ರನಲ್ಲಿನ ನಿಕ್ಷೇಪಗಳನ್ನು ಭೂಮಿಗೆ ತರುವ, ಮುಂತಾದ ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ಯೋಜನಗಳಿಗೆ ನೆರವಾಗುವ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸವಾಗ ವಿಕಿರಣದಿಂದಾಗುವ ಪರಿಣಾಮದ ಸವಾಲುಗಳಿಗೆ ಉತ್ತರ ಕಂಡು ಕೊಳ್ಳಬೇಕಿದೆ. ಈ ನಿಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಉದ್ದೇಶಿತ ಅಂತರಿಕ್ಷ ನಿಲ್ದಾಣದಲ್ಲಿ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ರಚಿಸಲಾಗುತ್ತಿದೆ. ವರ್ತಮಾನದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಗಳ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಕೊಂಚ ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಬಹುದೇ ಹೊರತು, ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ನಿಲ್ಲಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಹೆಚ್ಚು ವಿಕಿರಣ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಸಹಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಅತಿರೇಕ ತಾಪಮಾನಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಳ್ಳುವ ವಿಕಿರಣ ನಿರೋಧಕ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಮತ್ತು ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿ ಪಡಿಸುವ ಅಗತ್ಯವಿದೆ. ಹಾಗಾಗಿ ನಮ್ಮ ಮುಂದಿರುವ ಸವಾಲುಗಳನ್ನು ಆಧುನಿಕ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ, ಎಐ ಇತ್ಯಾದಿಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ಸಂಶೋಧನೆ ಮಾಡಿ, ಉತ್ಕೃಷ್ಟ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸುವುದಲ್ಲದೇ ಅನ್ಯ ಗ್ರಹಗಳಲ್ಲಿ ವಾಸ್ತವ್ಯ ಹೂಡಲು ಬೇಕಾಗುವ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನವನ್ನು ಅಭಿವೃದ್ಧಿ ಪಡಿಸುವುದೇ ನಮ್ಮೆಲ್ಲರ ಗುರಿ.

ಗ್ರಂಥ ಋಣ

1. Guenther Reitz. *Characteristic of the radiation field in low earth orbit and in deep space*. Zeitschrift f¨ur Medizinische Physik, 2008.
2. ಡಾ. ಬಿ. ಎಸ್. ಶೈಲಜ, ಡಾ. ಟಿ. ಆರ್. ಆನಂತರಾಮು. *ಖಗೋಳ ದರ್ಶನ – ಅಂತರಿಕ್ಷಕ್ಕೆ ಹಂತ ಹಂತದ ಮೆಟ್ಟಿಲು*, ನವಕರ್ನಾಟಕ ಪಬ್ಲಿಕೇಷನ್ಸ್ ಪ್ರೈವೇಟ್ ಲಮಿಟೆಡ್, 2023. ಪುಟ 121–133, 449–554
3. C Rodman, G Almeida-Porada, SK George, J Moon, S Soker, T Pardee, M Beaty, P Guida, SP Sajuthi, Carl D Langefeld, et al. *In vitro and in vivo assessment of direct effects of simulated solar and galactic cosmic radiation on human hematopoietic stem/progenitor cells*. Leukemia, 31(6):1398–1407, 2017.

4. Omid Miry, Xiao-lei Zhang, Linnea R Vose, Katisha R Gopaul, Galadu Subah, Juliet A Moncaster, Mark W Wojnarowicz, Andrew M Fisher, Chad A Tagge, Lee E Goldstein, et al. *Life-long brain compensatory responses to galactic cosmic radiation exposure*. Scientific Reports, 11(1):4292, 2021.
5. Karen Krukowski, Xi Feng, Maria Serena Paladini, Austin Chou, Kristen Sacramento, Katherine Grue, Lara-Kirstie Riparip, Tamako Jones, Mary Campbell-Beachler, Gregory Nelson, et al. *Temporary microglia-depletion after cosmic radiation modifies phagocytic activity and prevents cognitive deficits*. Scientific reports, 8(1):7857, 2018.
6. Graca Almeida-Porada, Christopher Rodman, Bradford Kuhlman, Egil Brudvik, John Moon, Sunil George, Peter Guida, Satria P Sajuthi, Carl D Langefeld, Stephen J Walker, et al. *Exposure of the bone marrow microenvironment to simulated solar and galactic cosmic radiation induces biological bystander effects on human haematopoiesis*. Stem Cells and Development, 27(18):1237–1256, 2018.
7. https://www.nasa.gov/directorates/esdmd/hhp/space-radiation/
8. WH Zhong, G Sui, S Jana, and J Miller. *Cosmic radiation shielding tests for uhmwpe fiber/nano-epoxy composites*. Composites Science and Technology, 69(13):2093–2097, 2009.
9. Marc M Cohen. *Carbon Radiation Shielding for the Habot Mobile Lunar Base*. Technical report, SAE Technical Paper, 2004.
10. Estanislao Aguayo Navarrete, Richard T Kouzes, Austin S Ankney, John L Orrell, Timothy J Berguson, and Meredith D Troy. *Cosmic ray interactions in shielding materials*. Technical report, Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States), 2011.
11. *ನವಕರ್ನಾಟಕ ವಿಜ್ಞಾನ–ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ ಪದ ಸಂಪದ*. ನವಕರ್ನಾಟಕ ಪಬ್ಲಿಕೇಷನ್ಸ್ ಪ್ರೈವೇಟ್ ಲಮಿಟೆಡ್, 2012.