ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳನ್ನು ಆಲಿಸುವುದು

ಪರಮೇಶ್ವರನ್ ಅಜಿತ್

ಇತ್ತೀಚಿನ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ಅನ್ವೇಷಣೆಯು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ನ ಶತಮಾನದ ಹಿಂದಿನ ತರ್ಕಬದ್ಧ ಊಹೆಯನ್ನು ದೃಢೀಕರಿಸುವುದು ಮಾತ್ರವಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ಅವಲೋಕಿಸುವ ಹೊಸ ವಿಧಾನವನ್ನು ತೆರೆಯುತ್ತದೆ. ಈ ಲೇಖನವು ಈ ಅನ್ವೇಷಣೆಯ ರೋಚಕ ಗಾಥೆ, ಅದರ ಹಿನ್ನೆಲೆ ಮತ್ತು ಮುಂದೇನು ಎನ್ನುವುದನ್ನು ವಿವರಿಸುತ್ತದೆ.

ಸುಮಾರು 1.3 ಶತಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆ, ದೂರದ ಒಂದು ನಿಹಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದ ಎರಡು ಭಾರೀ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳು (Black holes) ವಿಲೀನಗೊಂಡು ಇನ್ನೂ ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದವು. ಈ ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯಮಾನವು ಸೆಕೆಂಡಿನ ಅಲ್ಪಾಂಶ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಮೂರು ಸೂರ್ಯರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗೆ ಸಮನಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡಿತು. ಒಂದು ವೇಳೆ ಈ ಶಕ್ತಿ ಬೆಳಕಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಂಡಿದ್ದರೆ ಆ ಬೆಳಕಿನ ಹೊಳಪು ಸಮಸ್ತ ಗೋಚರ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ಮೀರಿಸುತ್ತಿತ್ತು–ಅಂದರೆ, ಸೆಕೆಂಡಿನ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಭಾಗದಷ್ಟು ಕಾಲ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದ ಎಲ್ಲ ನಕ್ಷತ್ರಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ ಬರುವಂಥ ಬೆಳಕನ್ನು ಮೀರಿಸಿ ಹೊಳೆಯುವಷ್ಟಿರುತ್ತಿತ್ತು. ಬದಲಿಗೆ, ಅದು ಕಾಲ–ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರಬಲವಾದ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿತು.

ಈ ತರಂಗಗಳು 1.3 ಶತಕೋಟಿ ಬೆಳಕಿನ ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ದೂರ ಸಾಗಿ 14ನೆಯ ಸೆಪ್ಟೆಂಬರ್, 2015 ರಲ್ಲಿ ಭೂಮಿಯನ್ನು ತಲುಪಿದವು. ಅಮೆರಿಕಾದಲ್ಲಿರುವ Laser Interferrometer Gravitational Wave Observatory, (LIGO) ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದ ಎರಡು ಅದ್ಭುತ ಉಪಕರಣಗಳು ಕಾಲ–ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾದ ಈ ಅತಿ ಚಿಕ್ಕ ಅಲೆಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಮಾಡಿದವು. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಇದರ ಅನ್ವೇಷಣೆಯನ್ನು ಕುರಿತಂತೆ 12ನೆಯ ಫೆಬ್ರವರಿ, 2016 ರಲ್ಲಿ ಘೋಷಿಸಿದಾಗ ಸಾರ್ವಜನಿಕರ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯಲ್ಲಿ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಿನ ತರಂಗಗಳುಂಟಾದವು. 'ದಿ ನ್ಯೂಯಾರ್ಕ್ ಟೈಮ್ಸ್' ಇದನ್ನು 'ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡದಾದ್ಯಂತ ಕೇಳಬಂದ ಚಿಲಿಪಿಲಿಯೆಂದು ಬಣ್ಣಿಸಿತು. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು LIGO ಪ್ರಯೋಗಾಲಯದಲ್ಲಿ ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಿದ ವಿದ್ಯಮಾನವು, ಸುಮಾರು ಶತಮಾನದ ಹಿಂದೆ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣಾ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆಲ್ಬರ್ಟ್ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕವಾಗಿ ಮಂಡಿಸಿದ 'ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸಾಪೇಕ್ಷತಾ ಸಿದ್ಧಾಂತವೇ' ಆಗಿತ್ತು.

ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳು

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ನ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸಾಪೇಕ್ಷತಾ ಸಿದ್ಧಾಂತದ (1915) ಅತ್ಯಂತ ಕುತೂಹಲಕಾರಿ ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ಮುನ್ಸೂಚನೆಗಳಲ್ಲಿ ಗುರತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವವೂ ಒಂದು. ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಆಧಾರ ಸ್ತಂಭಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಂದು ಪರಿಗಣಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿರುವ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ

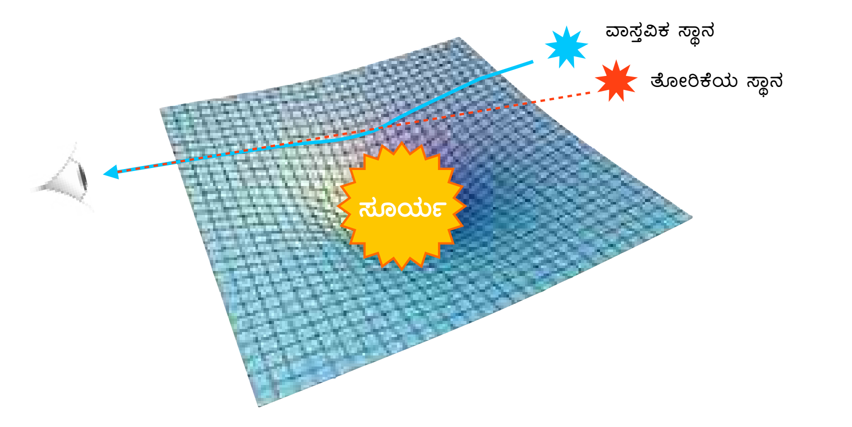
ಸಾಪೇಕ್ಷತಾ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಇಂದು ನಮಗೆ ಲಭ್ಯವಿರುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಯನ್ನು ಕುರಿತ ಅತ್ಯಂತ ನಿಖರ ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ವಿವರಣೆಯಾಗಿದೆ. ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಯಾವುದೇ ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತು (ಅಥವಾ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ವಿಕಿರಣದಂಥ ಶಕ್ತಿಯ ಇತರ ರೂಪಗಳು) ತನ್ನ ಸುತ್ತಲಿನ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶವನ್ನು ಬಾಗುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಸಮತಲ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ, ಸರಳ ರೇಖೆಯಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ಬೆಳಕು ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದ ವಕ್ರಪಥವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತಾ ಅಗಾಧ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ವಸ್ತುವಿನ ಬಳಿ ಬಾಗಲು ಆರಂಭಿಸುತ್ತದೆ.

ಬ್ರಿಟನ್ನಿನ ಖಗೋಲತಜ್ಞನಾದ ಆರ್ಥರ್ ಎಡ್ಡಿಂಗ್‌ಟನ್, 1919ರಲ್ಲಿ ಉಂಟಾದ ಪೂರ್ಣ ಸೂರ್ಯಗ್ರಹಣದ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಈ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದ ಮೊದಲ ವ್ಯಕ್ತಿ. ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಬೆಳಕಿನ ಬಾಗುವಿಕೆಯು ಸೂರ್ಯನ ಸಮೀಪದ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ತೋರಿಕೆಯ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳ ಮೂಲ ಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಪಲ್ಲಟವನ್ನುಂಟು ಮಾಡಿತು. ಇದು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಮುನ್ಸೂಚಿಸಿದ ಸಂಗತಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿದೆಯೆಂದು ಎಡ್ಡಿಂಗ್‌ಟನ್ ಅರಿತುಕೊಂಡರು (**ಬಾಕ್ಸ್ 1** ನೋಡಿ). ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣವು ಕಾಲವನ್ನು ಮುದುಡುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ ಎಂದು ಸಹ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಹೇಳುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಅಪಾರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುವಿನ ಬಳಿ ಕಾಲವು ನಿಧಾನವಾಗಿ ಸರಿಯುತ್ತದೆ. ಈ ಪರಿಣಾಮವು ಹಲವು ಖಗೋಳೀಯ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಹಾಗೂ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯಗಳ ಪರೀಕ್ಷಣೆಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಕಾಣುವುದು ಎಂದೇನಿಲ್ಲ; Global Positioning System, (GPS) ಕೆಲಸ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ ಈ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ (**ಬಾಕ್ಸ್ 2** ನೋಡಿ).

ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ ಉಂಟುಮಾಡುವ ವಸ್ತುವಿನ ಹೊರಗೆ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದ ಮುದುಡುವಿಕೆಯ ಪರಿಮಾಣವು ಅದರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ (ಅಥವಾ ಶಕ್ತಿ) ಮತ್ತು ಅದರಿಂದ ಇರುವ ದೂರಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸುತ್ತದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಭೂಮಿಯ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದಲ್ಲಿ ಆಗುವ ಮುದುಡುವಿಕೆಯು ಅತ್ಯಲ್ಪ. ಹೀಗಿದ್ದರೂ, GPS ನಂಥ ನಿಖರ ಯಂತ್ರರಚನೆಗಳು ಈ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ವಿರುದ್ಧವಾಗಿ, ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳು ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳಂಥ ಅತ್ಯಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ, ಸಾಂದ್ರಗೊಂಡ ಖಭೌತ ಕಾಯಗಳ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಅಪಾರ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮುದುಡುವಿಕೆಯನ್ನು ಗಮನಿಸಬಹುದು. ಅಗಾಧ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಅವಸಾನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ (ನ್ಯೂಕ್ಲೀಯ ಇಂಧನ ಮುಗಿದು ಹೋದಾಗ) ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ ಕುಸಿತದ ಕಾರಣದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನಗೊಳ್ಳುವಂಥದ್ದು ಎಂದು ಭಾವಿಸಲಾದ, ಸೂರ್ಯನಷ್ಟೇ ರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಯೊಂದು ಕೆಲವೇ ಕಿಲೋಮೀಟರ್‌ಗಳಷ್ಟು ತ್ರಿಜ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ (ಸೂರ್ಯನ ತ್ರಿಜ್ಯ 700000 ಕಿ.ಮೀ ಎಂಬುದನ್ನು ಸ್ಮರಿಸಿ)!

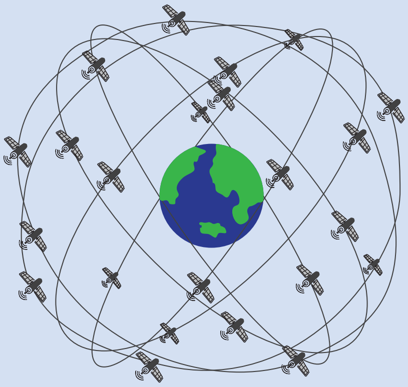
ಅಗಾಧ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಒಂದು ದಟ್ಟವಾದ ವಸ್ತುವು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾದಾಗ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದ ವಕ್ರಪಥವು ತನ್ನ ಚಲನೆಯನ್ನು

ಬಾಕ್ಸ್ 1. ಬೆಳಕಿನ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಬಾಗುವಿಕೆ



ಈ ಕಾರ್ಟೂನಿನಲ್ಲಿ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶವನ್ನು ಉದ್ದವಾಗಿ ಮತ್ತು ಅಡ್ಡಲಾಗಿ ಸಮಾಂತರ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎರಡು-ಆಯಾಮದ ಮೇಲ್ಮೈ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಚಿತ್ರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಸೂರ್ಯ ತನ್ನ ಸುತ್ತಲಿನ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶವನ್ನು ಬಾಗುವಂತೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ವೀಕ್ಷಕ ಮತ್ತು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ನಡುವಿನ ಕನಿಷ್ಠ ಪಥ ಸರಳರೇಖೆಯಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ನಕ್ಷತ್ರದ ಬೆಳಕು ತನ್ನ ಮೂಲ ಮತ್ತು ವೀಕ್ಷಕನ ನಡುವಣ ಕನಿಷ್ಠ ಪಥವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವುದರಿಂದ, ವಕ್ರಗೊಂಡ ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದ ಬಳಿ ಅದು ಬಾಗುತ್ತದೆ, ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ನಕ್ಷತ್ರದ ತೋರಿಕೆಯ ಸ್ಥಾನವು ಪಲ್ಲಟಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನ ಅಂಗಭಾಗದ ಸಮೀಪ ಹಾದುಹೋಗುವ ನಕ್ಷತ್ರದ ಬೆಳಕು ಗರಿಷ್ಠ ವಕ್ರತೆಯನ್ನು (ಸುಮಾರು 1.75/3600 ಡಿಗ್ರಿಗಳು) ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಸೂರ್ಯನಿಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪವಿರುವ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ತಮ್ಮ ತೋರಿಕೆಯ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಗರಿಷ್ಠ ಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ಬಾಕ್ಸ್ 2. ಗ್ಲೋಬಲ್ ಪೊಸಿಷನಿಂಗ್ ಸಿಸ್ಟಮ್ ಮತ್ತು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಕಾಲ ವಿಸ್ತರಣೆ



ಗ್ಲೋಬಲ್ ಪೊಸಿಷನಿಂಗ್ ಸಿಸ್ಟಮ್ ಎಂಬುದು ಆಧಾರ (reference) ದಂತೆ ವರ್ತಿಸುವ ಭೂಮಿಯನ್ನು ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಉಪಗ್ರಹಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಆಧರಿಸಿದೆ. ಈ ಉಪಗ್ರಹಗಳು ನಿಖರವಾದ ಪರಮಾಣು ಗಡಿಯಾರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, ನಿರಂತರವಾಗಿ ತಮ್ಮ ಸ್ಥಾನ ಮತ್ತು ಸಮಯವನ್ನು ರವಾನಿಸುತ್ತವೆ.

ಒಮ್ಮೆಗೆ ಕನಿಷ್ಠ ನಾಲ್ಕು ಉಪಗ್ರಹಗಳಿಂದ ರೇಡಿಯೋ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು ನಾವು ಗ್ರಹಿಸಿದರೆ ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ಸ್ಥಿರ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ನಾವಿರುವ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಮೂರು ಆಯಾಮದಲ್ಲಿ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಬಹುದಲ್ಲದೆ ಆಧಾರ ಗಡಿಯಾರ ತೋರಿಸುವಂತೆ ಸಮಯವನ್ನು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಜಿಪಿಎಸ್ ಸಹಾಯದಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ 10 ಮೀಟರ್ ವರೆಗಿನ ನಿಖರತೆಯಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

ಆದಾಗ್ಯೂ, ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ ಸಮಯದ ಗತಿಯನ್ನು ಮಂದವಾಗಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲಿರುವ ಗಡಿಯಾರವು ಉಪಗ್ರಹದ ಮೇಲಿರುವ ಗಡಿಯಾರಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದಾಗ ದಿನಕ್ಕೆ 3 ಮೈಕ್ರೋ ಸೆಕೆಂಡ್ ನಿಧಾನವಾಗಿ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಬೆಳಕು 10 ಮೀಟರ್ ಚಲಿಸಲು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುವ ಕಾಲಕ್ಕಿಂತ ಇದು ಬಹಳ ಅಧಿಕವಾಗಿದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಇಲ್ಲಿ ಗಮನಿಸಿ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಜಿಪಿಎಸ್ ಗ್ರಾಹಕಗಳು ತಮ್ಮ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ನಿಖರವಾಗಿ ಗುರುತಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ ಈ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ವಿಧದಲ್ಲಿ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸಾಪೇಕ್ಷತೆ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ನಮ್ಮ ದೈನಂದಿನ ಜೀವನವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದೆ!

ಅನುಸರಿಸುವಂತೆ ಮಾಡುವುದಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಈ ವಕ್ರಪಥದಲ್ಲಿ ಆಂದೋಲನವನ್ನುಂಟು ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಈ ಆಂದೋಲನಗಳು ತಮ್ಮ ಮೂಲದಿಂದ ಬೇರ್ಪಟ್ಟು ಹೊರಮುಖವಾಗಿ ಪ್ರಸಾರಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಈ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯು ಆವೇಶಿತ ಕಣಗಳ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷದಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ತರಂಗಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಯ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಂತೆಯೇ ಇರುವುದು. ವ್ಯತ್ಯಾಸವೆಂದರೆ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಆಂದೋಲನವು ಕಾಲ-ಅವಕಾಶದ ಜ್ಯಾಮಿತಿಯ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇರುವುದು.

1916 ರಲ್ಲಿ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸಾಪೇಕ್ಷತೆ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಕ್ಷೇತ್ರ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುವ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ತರಂಗಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸುವ ಗಣಿತೀಯ ಉತ್ತರಗಳು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವುವು ಎಂಬುದನ್ನು ಕಂಡುಕೊಂಡನು. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಇದು ಭೌತಿಕ ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿ ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿದಲ್ಲಿರುವ ವಿದ್ಯಮಾನವೇ ಅಥವಾ ಅಲ್ಲವೇ ಎಂಬುದು 1950ರ ದಶಕದವರೆಗೂ ವಿವಾದಾತ್ಮಕವಾಗಿಯೇ ಉಳಿಯಿತು. ಅವುಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಬಗ್ಗೆ ಸ್ವತಃ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನನೇ ಸಂದೇಹಪಟ್ಟ ಸಂದರ್ಭಗಳೂ ಇದ್ದವು. ಅಂದ ಹಾಗೆ, 1950 ಹಾಗೂ 1960 ರ ದಶಕಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಅಪಾರ ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ಅಧ್ಯಯನಗಳು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಗೆ ನಿಜವಾದ ಭೌತಿಕ ಅಸ್ತಿತ್ವವಿದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ದೃಢಪಡಿಸಿದವು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ ಅವು, ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ತರಂಗಗಳಂತೆಯೇ ತಮ್ಮ ಉಗಮ ಸ್ಥಾನದಿಂದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೊಂಡೊಯ್ಯಬಲ್ಲವು. ನಂತರ, 1975 ರಲ್ಲಿ ರಸೆಲ್ ಹಲ್ಸ್ (Russel Hulse) ಮತ್ತು ಜೋಸೆಫ್ ಟೇಲರ್(Joseph Taylor) ರೇಡಿಯೋ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳ ಮುಖಾಂತರ ಯುಗಳ ಸ್ಪಂದತಾರಾ ಮಂಡಲ (Binary Pulsar System) ವನ್ನು ಅನ್ವೇಷಿಸಿದರು. ಸುಮಾರು 8 ತಾಸುಗಳ ಆವರ್ತನೆಯೊಂದಿಗೆ ಪರಸ್ಪರ ಸುತ್ತುಹಾಕುತ್ತಿರುವ ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಮಂಡಲ ಇದಾಗಿತ್ತು. ಒಂದು ವೇಳೆ ಈ ಮಂಡಲವು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಹೊರಸೂಸಿದ್ದರೆ ಆಗ ಉಂಟಾಗುವ ಶಕ್ತಿವ್ಯಯವು ಕಕ್ಷೆಗಳು ಬೇರ್ಪಡುವ ಸ್ಥಾನವು ಕಡಿಮೆಯಾಗುವಂತೆ ಮಾಡುವುದು. ಕೆಲವರ್ಷಗಳ ರೇಡಿಯೋ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ಪ್ರಾಪ್ತವಾದ ಮಾಪನಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಾಪೇಕ್ಷತೆ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸುವಂತೆಯೇ ಕಕ್ಷೀಯ ಆವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಇಳಿಕೆಯಾಗುವುದನ್ನು ತೋರಿಸಿತು. ಇದು ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಗಮನಾರ್ಹ ವಿಜಯವಾಗಿದ್ದು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳು ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಸಮಂಜಸ ಸಂಶಯಕ್ಕೆ ಅವಕಾಶವಿಲ್ಲದಂತೆ ಸಾಬೀತುಪಡಿಸಿತು. ಹಲ್ಸ್ ಮತ್ತು ಟೇಲರ್ – ಇವರಿಬ್ಬರಿಗೆ ಯುಗಳ ಸ್ಪಂದತಾರೆಯ ಆವಿಷ್ಕಾರಕ್ಕೆ 1993 ರಲ್ಲಿ ನೊಬೆಲ್ ಪ್ರಶಸ್ತಿಯನ್ನು ನೀಡಲಾಯಿತು.

ತರಂಗಗಳನ್ನು ಹಿಡಿಯುವುದು

ಯುಗಳ ಸ್ಪಂದತಾರೆಗಳು ನಮಗೆ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಅವಕಾಶ ನೀಡುತ್ತವೆಯಾದರೂ ನಾವು ಅವುಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನಗೊಳ್ಳುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿಲ್ಲ. ಯುಗಳ ಸ್ಪಂದತಾರೆಯ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಲ್ಲಿ ದೊರೆತ ಯಶಸ್ಸು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ನೇರವಾಗಿ ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯ ಬಗ್ಗೆ ಗಂಭೀರ ಚಿಂತನೆ ಮಾಡುವತ್ತ ಉತ್ತೇಜನ ನೀಡಿತು.

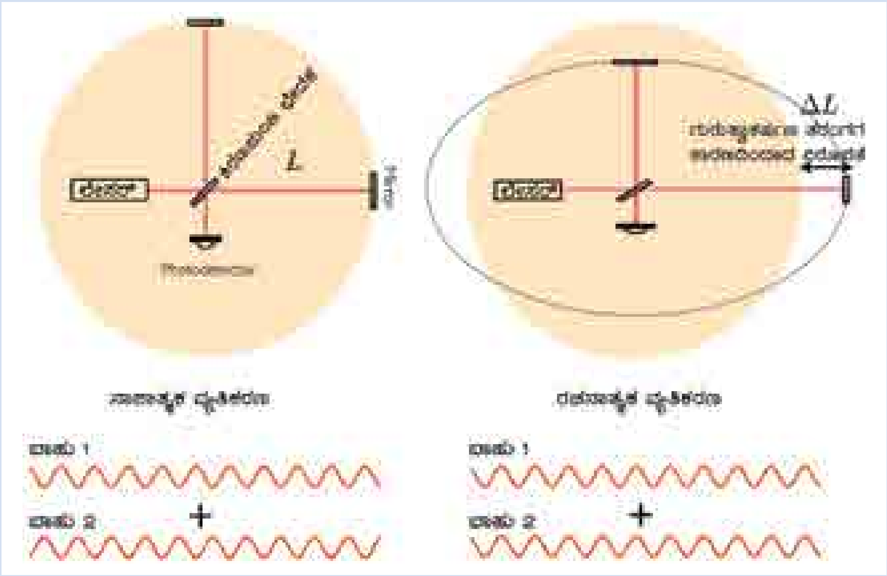
ಅತ್ಯಧಿಕ ವೇಗದೊಂದಿಗೆ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಅಪಾರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಸಾಂದ್ರ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ಖಭೌತ ವಿದ್ಯಮಾನವು ಭೂಮಿಯಿಂದಲೇ

ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಬಹುದಾದ ಸಾಧ್ಯತೆಯುಳ್ಳ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನುಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ ಎಂಬ ಸಂಗತಿಯನ್ನು ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರಗಳು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟವು. ಇದಕ್ಕೆ ಕೆಲವು ಉದಾಹರಣೆಗಳು ಹೀಗಿವೆ– ತಮ್ಮ ಜೀವಿತಾಂತ್ಯದಲ್ಲಿ ಕುಸಿಯುವ ಅತ್ಯಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು, ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳ ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಯುಗಳ ಮಂಡಲಗಳು, ಅತ್ಯಧಿಕ ವೇಗದಲ್ಲಿ ತಿರುಗುತ್ತಿರುವ, ವಿರೂಪಗೊಂಡ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಮತ್ತು ಸ್ವತಃ ಬಿಗ್‌ಬ್ಯಾಂಗ್ ಕೂಡ. ಅಂತಹ ವಿದ್ಯಮಾನ ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿದೆ ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ಪ್ರಬಲ ವೀಕ್ಷಣಾ ಸಾಕ್ಷ್ಯವೂ ಇತ್ತು. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಮಾಡುವ ಪ್ರಯೋಗಾತ್ಮಕ ಪ್ರಯತ್ನಗಳು 1960 ರ ದಶಕದಲ್ಲೇ ಆರಂಭಗೊಂಡವು. ಇದು ಜೋಸೆಫ್ ವೆಬರ್ (Joseph Weber) ಎಂಬಾತ 'ಅನುರಣನ ದಂಡ' (Resonant Bar) ಶೋಧಕಗಳನ್ನು ಬಳಸುವುದರೊಂದಿಗೆ ಆರಂಭಗೊಂಡಿತು. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣದ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ಗಳನ್ನು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಬಲ್ಲ ಆಂಟೆನಾಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬಳಸಬಹುದೆಂಬ ವಿಚಾರವು, ಈ ಪ್ರಯತ್ನವನ್ನು ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಿ ಆಗಿಸಿತು.

ತಮ್ಮ ಮೂಲದಿಂದ ಬಹುದೂರವಿರುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಆಕಾಶದ ವಕ್ರತೆಯಲ್ಲಿನ ಸಮಯಾಧಾರಿತ ವಿರೂಪತೆಗಳೆಂದು ಪರಿಗಣಿಸಬಹುದು. ಅವು ಉಬ್ಬರದಲೆಗಳ ಬಲಕ್ಕಿರುವ (Tidal force) ವಿಶಿಷ್ಟ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಆಕಾಶದಲ್ಲಿ ವಿರೂಪವುಂಟು ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಚಂದ್ರನು ಉಬ್ಬರದಲೆಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿ ಭೂಮಿಯ ಗೋಲಾಕಾರ ವಿರೂಪಗೊಳ್ಳುವಂತೆ ಮಾಡುವಂತೆಯೇ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳು 'ಪರೀಕ್ಷಾ ಕಣಗಳ' ಉಂಗುರವನ್ನು ದೀರ್ಘವೃತ್ತವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುತ್ತದೆ. (ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಂದಾದ ವಿರೂಪತೆ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಅಡ್ಡಲಾಗಿರುವುದು, ಅಂದರೆ, ತರಂಗ ಹರಡುವಿಕೆಯ ದಿಕ್ಕಿಗೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವುದು.). ಈ ಬಹು ಮುಖ್ಯ ಪರಿಕಲ್ಪನೆಯ ಕಾರಣದಿಂದ ಲೇಸರ್ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚುವ ಆದರ್ಶ ಉಪಕರಣವಾಗಿದೆ. (ಬಾಕ್ಸ್ **3 ನೋಡಿ**).

19ನೆಯ ಶತಮಾನದ ಉತ್ತರಾರ್ಧದಲ್ಲಿ ಆಲ್ಬರ್ಟ್ ಮೈಕೆಲ್‌ಸನ್(Albert Michelson)ನಿಂದ ಆವಿಷ್ಕರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ 'ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೆಟ್ರಿ' ಒಂದು ಸುಸ್ಥಾಪಿತ ತಂತ್ರಜ್ಞಾನ. ಇದನ್ನು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗ ಶೋಧಕದಂತೆ ಬಳಸಲು ಒಂದು ಸಮಸ್ಯೆ ಇದೆ. ಅದೇಂದರೆ, ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ನ ಬಾಹುವಿನ ಅಳತೆಯಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ಸಾಗುವಿಕೆಯಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಅತ್ಯಲ್ಪ ವ್ಯತ್ಯಾಸ. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಸಮೀಪದ ನಿಹಾರಿಕಾ ಸಮೂಹವಾದ ವಿರ್ಗೋನಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಒಂದರಲ್ಲೊಂದು ಐಕ್ಯವಾದಾಗ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ನ ಬಾಹುವಿನ ಉದ್ದದಲ್ಲಿ ಕೇವಲ 10^{-21} ಮೀಟರ್‌ನಷ್ಟು ಮಾತ್ರ ಆಂಶಿಕ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ! ಅಂದರೆ, ಈ ವಿದ್ಯಮಾನವನ್ನು ಪತ್ತೆ ಮಾಡಲು ಉದ್ದದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ 10^{-21} ಮೀಟರ್‌ನಷ್ಟು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನೂ ಅಳತೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗಿರುವಾಗ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚುವುದು ಬಲು ಕಷ್ಟದ ಕೆಲಸ ಎಂಬುದು ಅಚ್ಚರಿಯ ಸಂಗತಿಯೇನಲ್ಲ!

ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಿಹರಿಸಬಹುದಾದ ಒಂದು ಮಾರ್ಗವೆಂದರೆ, ಒಂದು ಮೀಟರ್ ಉದ್ದ ಬಾಹುವಿರುವ ಮೇಜಿನ ಮೇಲಿಡುವ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿರುವುದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಉದ್ದದ ಬಾಹುವಿರುವ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್ ಅನ್ನು ಬಳಸುವುದು. ಉದ್ದದ ಬಾಹುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದಾಗ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಂದ ಬಾಹುವಿನ ಉದ್ದದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಸಂಪೂರ್ಣ ಬದಲಾವಣೆ ಅಧಿಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಈಗಿನ ಆಧುನಿಕ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗ ಶೋಧಕಗಳು ಕಿಲೋಮೀಟರ್ ಸ್ಕೇಲ್ ನಲ್ಲಿರುವ ಮೈಕೆಲ್‌ಸನ್ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ಗಳೇ ಆಗಿವೆ. ಆದಾಗ್ಯೂ, ನಾವು ಅವುಗಳ ಬಾಹುಗಳಲ್ಲಿ ಆಗುವ 10^{-18} ಮೀಟರ್‌ಗಳಿಗಿಂತಲೂ ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವ– ಅಂದರೆ, ಪರಮಾಣು ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಸ್‌ನ ಗಾತ್ರಕ್ಕಿಂತಲೂ ಅತಿ



ಬಾಕ್ಸ್ 3. ಲೇಸರ್ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್ ಬಳಸಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚುವುದು

ಲೇಸರ್ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ನಲ್ಲಿ ಲೇಸರ್ ಮೊದಲಿಗೆ ಎರಡು ಬೆಳಕಿನ ಪುಂಜಗಳು ನಾಶಾತ್ಮಕ ವ್ಯತಿಕರಣಕ್ಕೆ (Destructive Interference) ಒಳಗಾಗುವ ಹಾಗೆ ಎರಡು ಬಾಹುಗಳ ಉದ್ದವನ್ನು ಹೊಂದಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ (ಎಡಭಾಗದಲ್ಲಿರುವುದು). ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗವು ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ನ ಮೇಲ್ಮೈಗೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಹಾದು ಹೋದಾಗ ಅದು ಒಂದು ಬಾಹುವನ್ನು ಉದ್ದವಾಗಿಯೂ, ಮತ್ತೊಂದು ಬಾಹುವನ್ನು ಸಣ್ಣದಾಗಿಯೂ ಮಾಡುತ್ತದೆ

ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸ್ಥಿರಾಂಕವಾದ್ದರಿಂದ ಈ ಎರಡು ಬಾಹುಗಳ ಮೂಲಕ ಬೆಳಕು ಹೋಗಿ ಬರುವ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಸಾಪೇಕ್ಷ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಉಂಟಾಗುವುದು. ಈ ಎರಡು ಬೆಳಕಿನ ಪುಂಜಗಳ ನಡುವಣ ವ್ಯತಿಕರಣವು ಬೆಳಕಿನ ಉತ್ಪನ್ನ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ (Output Power) ದಲ್ಲಿ ದ್ಯುತಿ – ಪತ್ತೆಕಾರಿಯಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಲ್ಲ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ.

ಕಡಿಮೆ – ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ ! ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ಗಳನ್ನು 'ಕಪ್ಪು' ಮತ್ತು 'ಬಿಳುಪು' ಪಟ್ಟೆಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ದೂರವನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವಂತೆ ವಿನ್ಯಾಸಗೊಳಿಸುತ್ತಾರೆ. ಅಂದರೆ, ಉದ್ದವನ್ನು ಅಳೆಯುವ ಮಾನದಂಡವು ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೆ ಸಾದೃಶ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು. ಆದರೆ, ಕಳೆದ ಮೂರು ದಶಕಗಳಲ್ಲಿ ಆಗಿರುವ ಬೆಳವಣಿಗೆಯಿಂದಾಗಿ ಆಧುನಿಕ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣಾ ತರಂಗ ಶೋಧಕ ಉಪಕರಣಗಳು ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್‌ನಿಂದ ಹೊರಗೆ ಬರುವ ಬೆಳಕಿನಲ್ಲಿ ಆಗುವ ಅಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚುವುದರ ಮೂಲಕ ತರಂಗಾಂತರದ ಇನ್ನೂ ಕಡಿಮೆ ಪ್ರಮಾಣದ ಆಂಶಿಕ ಭಾಗವನ್ನು ($\sim10^{-12}$) ಅಳತೆ ಮಾಡಬಲ್ಲವು. ತನ್ನ ಮೇಲ್ಮೈಗೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಬಂದು ಪ್ರವೇಶಿಸುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಗೆ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್ ಅತ್ಯಂತ ಸೂಕ್ಷ್ಮಗ್ರಾಹಿಯಾಗಿದ್ದರೂ, ಹೆಚ್ಚುಕಡಿಮೆ ಬೇರೆ ಎಲ್ಲ ದಿಕ್ಕುಗಳಿಂದಲೂ ಬರುವ ಸಂಕೇತಗಳಿಗೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮಗ್ರಾಹಿತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇಡೀ ಆಕಾಶದಿಂದ ಬರುವ ಸಮಸ್ತ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು ನಿಖರವಾಗಿ ಗುರುತಿಸುವ ಆಂಟೆನಾ ಇದಾಗಿದೆ. ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರವನ್ನೋ ಅಥವಾ ನಿಹಾರಿಕೆಯನ್ನೋ ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಗಗನದ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಭಾಗದತ್ತ ತಿರುಗಿಸಿ ನಿಲ್ಲಿಸುವ ದೂರದರ್ಶಕಕ್ಕಿಂತ ಇದು ಭಿನ್ನವಾಗಿದೆ. ಹಲವು ಸಣ್ಣ ಆಂಟೆನಾಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ಸಂಪೂರ್ಣ ಆಕಾಶವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಇದು ಅನುವು ಮಾಡಿಕೊಡುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಇದರಿಂದ ಒಂದೇ ಒಂದು ಆಂಟೆನಾವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ ಮೂಲವು ಎಲ್ಲಿದೆ ಎಂದು ಗುರುತಿಸಲು ಕಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಭೌಗೋಳಿಕವಾಗಿ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕಡೆ ಇರುವ ಹಲವು ಶೋಧಕಗಳಿಂದ ಪ್ರಾಪ್ತವಾಗುವ ದತ್ತಾಂಶಗಳನ್ನು ಸಂಯೋಜಿಸಿ ಮೂಲದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಗುರುತಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವುದರಿಂದ ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಸ್ಥಾನಗಳಲ್ಲಿರುವ ಶೋಧಕಗಳಿಗೆ ಸಂಕೇತವು ಬಂದು ತಲುಪುವ ಸಮಯದ ಅಂತರವನ್ನು ಆಧರಿಸಿ ಬಾನಿನಲ್ಲಿ ಮೂಲದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ. ತನ್ನ ಎರಡೂ ಕಿವಿಗಳಿಗೆ ಶಬ್ದ ಬಂದು ತಲುಪುವ ಸಮಯವನ್ನು ಸಂಸ್ಕರಿಸಿ ಬೇಟೆಯಿರುವ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಗುರುತಿಸುವ ಗೂಬೆಗೆ ಇದನ್ನು ಹೋಲಿಸಬಹುದು. ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಶೋಧಕಗಳ ನಡುವಿನ ಅಂತರ ಹೆಚ್ಚಿದಷ್ಟು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ಮೂಲವನ್ನು ಗುರುತಿಸುವ ನಿಖರತೆಯು ಉತ್ತಮಗೊಳ್ಳುವುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಇದು ಸಾಬೀತು ಪಡಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿ, ಭಾರತದಲ್ಲಿ ಲಿಗೊ (LIGO) ವೀಕ್ಷಣಾಲಯವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸುವ ಇಂದಿನ ಯೋಜನೆಯು ಸದ್ಯದ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗ ಶೋಧಕಗಳ ಅಂತಾರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ಜಾಲಕ್ಕೆ ಪ್ರಮುಖ ಸೇರ್ಪಡೆಯಾಗಲಿದೆ. ಯು.ಎಸ್.ಎ ಮತ್ತು ಯುರೋಪ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಶೋಧಕಗಳಿರುವ ಸ್ಥಾನದಿಂದ ಭಾರತದಲ್ಲಿ ಲಿಗೊ ಸ್ಥಾಪಿತಗೊಳ್ಳುವ ಸ್ಥಾನವು ಗಮನಾರ್ಹ ದೂರದಲ್ಲಿದೆಯಾದ್ದರಿಂದ ಬಾನಿನಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ಮೂಲವನ್ನು ಗುರುತಿಸುವ ನಿಖರತೆಯು ಬಹಳವಾಗಿ ಉತ್ತಮಗೊಳ್ಳಲಿದೆ.

1916 ರಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಾಪೇಕ್ಷತೆಯ ಕ್ಷೇತ್ರ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುವ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ತರಂಗಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸುವ ಗಣಿತೀಯ ಪರಿಹಾರಗಳು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವುವು ಎಂಬುದನ್ನು ಕಂಡುಕೊಂಡನು. ಆದಾಗ್ಯೂ, ಇದು ಭೌತಿಕ ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿ ನಿಜಕ್ಕೂ ಅಸ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿದಲ್ಲಿರುವ ವಿದ್ಯಮಾನವೇ ಅಥವಾ ಅಲ್ಲವೇ ಎಂಬುದು 1950 ರ ದಶಕದವರೆಗೂ ವಿವಾದಾತ್ಮಕವಾಗಿಯೇ ಉಳಿಯಿತು. ಅವುಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವದ ಬಗ್ಗೆ ಸ್ವತಃ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನನೇ ಸಂದೇಹಪಟ್ಟ ಸಂದರ್ಭಗಳೂ ಇದ್ದವು. ಹೀಗಿದ್ದರೂ, 1950 ಹಾಗೂ 1960 ರ ದಶಕಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಅಪಾರ ಸೈದ್ಧಾಂತಿಕ ಅಧ್ಯಯನಗಳು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳಿಗೆ ನಿಜವಾದ ಭೌತಿಕ ಅಸ್ತಿತ್ವವಿದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ದೃಢಪಡಿಸಿದವು.

ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಲು ಒಂದು ಹೊಸ ಇಂದ್ರಿಯ?

ಬೃಹದಾಕಾರದ ಇಂಟರ್‌ಫೆರೋಮೀಟರ್ ಆಧಾರಿತ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗ ಶೋಧಕಗಳು ಭೂಮಿಯ ಹಲವಾರು ಬೇರೆಬೇರೆ ಜಾಗಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಾಣಗೊಳ್ಳುತ್ತಾ ಬಂದಿವೆ.

ಕಳೆದ ಕೆಲವು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಮುಖ ಉನ್ನತೀಕರಣದ ನಂತರ ಯುಎಸ್‌ಎನಲ್ಲಿ ಲಿಗೋ ವೀಕ್ಷಣಾಲಯದ ಇಂತಹ ಎರಡು ಶೋಧಕಗಳು ಗಮನಾರ್ಹ ಸುಧಾರಿತ ಸೂಕ್ಷ್ಮತೆಯೊಂದಿಗೆ ಸೆಪ್ಟೆಂಬರ್, 2015 ರಿಂದ ಕಾರ್ಯ ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿದವು. 14ನೆಯ ಸೆಪ್ಟೆಂಬರ್, 2015 ರಲ್ಲಿ ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಸುಮಾರು 3000 ಕಿಲೋಮೀಟರು ದೂರದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಈ ಸುಧಾರಿತ ಲಿಗೊ ಶೋಧಕಗಳು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಸ್ಫುರಿತವಾದ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗದ ಸಂಕೇತವನ್ನು ಗುರುತಿಸಿದವು. ಈ ದತ್ತಾಂಶದ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯಿಂದ 1.3 ಶತಕೋಟಿ ಬೆಳಕಿನ ವರ್ಷಗಳಷ್ಟು ದೂರದಲ್ಲಿರುವ, ಎರಡು ಬೃಹತ್ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳ ವಿಲೀನದಿಂದ ಈ ಸಂಕೇತವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿದೆ ಎಂಬುದು ಬೆಳಕಿಗೆ ಬಂತು. ಇದು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗದ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ನೇರ ಗುರುತಿಸುವಿಕೆ ಆಗಿದೆಯಲ್ಲದೆ, ಎರಡು ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳು ಇರುವಂಥ ಒಂದು ಯುಗಳ ಮಂಡಲದ ಮೊದಲನೆಯ ಶೋಧವೂ ಆಗಿದೆ. ಖಗೋಳತಜ್ಞರು ಇದುವರೆಗೂ ವೀಕ್ಷಿಸಿರುವ ಯಾವುದೇ ತಾರಾ–ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳಿಗಿಂತ ಈ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳು ಗಣನೀಯವಾಗಿ ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಯುಳ್ಳದ್ದಾಗಿದ್ದವು. ವಾಸ್ತವವಾಗಿ, ಒಂದೊಂದು ಕಪ್ಪುಕುಳಿಯೂ ನಮ್ಮ ಸೂರ್ಯನಿಗಿಂತ 30 ಪಟ್ಟು ಅಧಿಕ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿ ಉಳ್ಳದ್ದಾಗಿದೆ! ಈ ವಿಲೀನದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಮೂರು ಸೂರ್ಯರ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗೆ ($E = 3Mc^2$) ಸಮನಾಗಿದ್ದು ಸೆಕೆಂಡಿನ ಅಲ್ಪಾಂಶ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ 10^{49} ವಾಟ್‌ನಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಬಿಂದುವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿಸಿತು! ಮಾನವಕುಲವು ಕಂಡ ಅತ್ಯಂತ ಶಕ್ತಿಶಾಲಿ ಖಗೋಳೀಯ ವಿದ್ಯಮಾನ ಇದಾಗಿದೆ. ಡಿಸೆಂಬರ್, 26, 2015 ರಂದು ಮತ್ತೊಂದು ಕಪ್ಪುಕುಳಿಯ ವಿಲೀನದಿಂದ ಹೊಮ್ಮಿದ ಎರಡನೆಯ ಸಂಕೇತವನ್ನು ಗುರುತಿಸಲಾಯಿತು. ಅವಲೋಕಿಸಿರುವ ಸಂಕೇತಗಳ ದರದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಮುಂದಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಕಪ್ಪುಕುಳಿಗಳ ವಿಲೀನದಿಂದ ಬರುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗದ ವೀಕ್ಷಣೆಯು ದೈನಂದಿನ ಕ್ರಮವಾಗುತ್ತದೆ ಎಂದು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ನಿರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಿದ್ದಾರೆ.

ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನದ ಚರಿತ್ರೆಯು ಆಶ್ಚರ್ಯಗಳ ಸರಮಾಲೆಯಂತಹ

ಕಥೆಗಳನ್ನು ನಮ್ಮ ಮುಂದಿರಿಸುತ್ತದೆ. ಬಾನಿನತ್ತ ತನ್ನ ದೂರದರ್ಶಕದ ಮೂಲಕ ನೋಡುತ್ತಾ ಚಂದ್ರನು ನಮ್ಮ ಪುರಾತನರು ಆಲೋಚಿಸಿದಂತೆ ಅರೆಪಾರದರ್ಶಕ ಹಾಗೂ ಪರಿಪೂರ್ಣ ಗೋಳವಾಗಿರದೆ, ಬೃಹತ್ ಪರ್ವತ ಮತ್ತು ಆಳವಾದ ಕಂದಕಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಾನೆ ಎಂದೂ, ಶುಕ್ರಗ್ರಹಕ್ಕೂ ಚಂದ್ರನಂತೆಯೇ ಹಂತಗಳಿವೆ ಎಂದೂ ಮತ್ತು ಗುರುಗ್ರಹವನ್ನು ಸುತ್ತುಹಾಕುವ ಉಪಗ್ರಹಗಳಿವೆ ಎಂದೂ ಗೆಲಿಲಿಯೋ ಕಂಡನು . ಅಂದಿನಿಂದ ರೇಡಿಯೋ, ಮೈಕ್ರೋವೇವ್, ಅವಕೆಂಪು (Infrared), ಅತಿನೇರಳೆ (Ultraviolet), ಕ್ಷ-ಕಿರಣ ಮತ್ತು ಗಾಮಾ ಕಿರಣ ದೂರದರ್ಶಕಗಳು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲದ ಅಗೋಚರ ತರಂಗಾಂತರದವರೆಗೆ ವಿಸ್ತರಿಸಿವೆ ಹಾಗೂ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕಿಟಕಿಗಳನ್ನು ತೆರೆದಿವೆ. ವಿಶ್ವಕಿರಣ (ಕಾಸ್ಮಿಕ್ ರೇ) ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ತರಂಗಗಳಿಗಿಂತ ಸಂಪೂರ್ಣ ಭಿನ್ನವಾದ ವಾಹಕಗಳವರೆಗೆ ವಿಸ್ತರಿಸಿವೆ. ಆಗೊ ವೀಕ್ಷಣಾತ್ಮಕ ಖಗೋಳಶಾಸ್ತ್ರದ ಅಭಿನವ ಶಾಖೆಯನ್ನು ತೆರೆದಿದೆ– ಆಗೊವಿನಿಂದ ವೀಕ್ಷಿಸಲ್ಪಡುವ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗ ಸಂಕೇತಗಳು ಶಬ್ದವ್ಯಾಪ್ತಿಯಲ್ಲಿ (Audio band) ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗದ ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನ ಎಂದರೆ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸುವುದಕ್ಕಿಂತ ಮಿಗಿಲಾಗಿ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ಆಲಿಸುವುದೇ ಆಗಿದೆ. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ತರಂಗಗಳ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳು ಖಗೋಳವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಬ್ರಹ್ಮಾಂಡವನ್ನು ಗ್ರಹಿಸಲು ಮತ್ತೊಂದು 'ಇಂದ್ರಿಯ'ವನ್ನು ಒದಗಿಸಿವೆ ಎಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

ಸೂಚನೆ; ಲೇಖನದ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿ ಬಳಸಿರುವ ಚಿತ್ರಗಳ ಕೃಪೆ: Caltech/MIT/LIGO Lab. URL: https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20150731c.
ಲೈಸೆನ್ಸ್: ಸಾರ್ವಜನಿಕ ಬಳಕೆಗೆ ಲಭ್ಯವಿದೆ.

ಮತ್ತಷ್ಟು ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕಾಗಿ

1. Bernard F Schutz, Gravity from the Ground Up: An Introductory Guide to Gravity and General Relativity, Cambridge University Press (2003). URL: http://www.gravityfromthegroundup.org/
2. Kip S Thorne, Black Holes & Time Warps - Einstein's Outrageous Legacy, W. W. Norton & Company (1995).
3. Web resources on gravitational waves https://www.ligo.caltech.edu/page/learn-more.
4. Resources for students, teachers and the public: http://ligo.org/public.php.
5. Web portal on General Relativity and its applications: http://www.einstein-online.info/

ಪರಮೇಶ್ವರನ್ ಅಜಿತ್: ಇವರು ಬೆಂಗಳೂರಿನ ಟಾಟಾ ಇನ್ಸ್ಟಿಟ್ಯೂಟ್ ಆಫ್ ಫಂಡಮೆಂಟಲ್ ರಿಸರ್ಚ್ ಸಂಸ್ಥೆಯ ಇಂಟರ್‌ನ್ಯಾಷನಲ್ ಸೆಂಟರ್ ಫಾರ್ ಥಿಯರಿಟಿಕಲ್ ಸೈನ್ಸ್ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿ ಆಗಿದ್ದಾರಲ್ಲದೆ, ಆಗೊ ಸೈಂಟಿಫಿಕ್ ಕೊಲಾಬೊರೇಷನ್‌ನ ಸದಸ್ಯರೂ ಆಗಿದ್ದಾರೆ. ಅವರನ್ನು ajith@icts.res.in ಇಲ್ಲಿ ಸಂಪರ್ಕಿಸಬಹುದು.

ಅನುವಾದ: ಬಿ ಎಂ.ಚಂದ್ರಶೇಖರ್ **ಪರಿಶೀಲನೆ:** ಗಾಯತ್ರಿ ಮೂರ್ತಿ