ਪਾਠ-8

ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਣ
(GRAVITATION)

8.1 ਭੂਮਿਕਾ (INTRODUCTION)

ਅਸੀਂ ਆਪਣੇ ਜੀਵਨਕਾਲ ਦੇ ਸ਼ੁਰੂਆਤੀ ਸਾਲਾਂ ਵਿੱਚ ਹੀ ਸਾਰੇ ਪਦਾਰਥਾਂ ਦੀ ਧਰਤੀ ਵੱਲ ਆਕਰਸ਼ਿਤ ਹੋਣ ਦੀ ਪ੍ਰਕਿਰਤੀ ਤੋਂ ਜਾਣੂ ਹੋ ਜਾਂਦੇ ਹਾਂ। ਕੋਈ ਵੀ ਵਸਤੂ ਜੋ ਉੱਪਰ ਸੁੱਟੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ, ਉਹ ਧਰਤੀ ਵੱਲ ਡਿਗਦੀ ਹੈ, ਪਹਾੜ ਤੋਂ ਥੱਲੇ ਉਤਰਣ ਲੱਗੇ ਉਨੀ ਥਕਾਨ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀ ਜਿੰਨੀ ਪਹਾੜ ਤੇ ਚੜ੍ਹਨ ਲੱਗੇ ਹੁੰਦੀ ਹੈ, ਉੱਪਰੋਂ ਬੱਦਲਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਵਰਖਾ ਦੀਆਂ ਬੂੰਦਾਂ ਧਰਤੀ ਵੱਲ ਡਿਗਦੀਆਂ ਹਨ, ਅਤੇ ਅਜਿਹੇ ਹੋਰ ਵੀ ਬਹੁਤ ਵਰਤਾਰੇ (Phenomena) ਹਨ। ਇਤਿਹਾਸ ਅਨੁਸਾਰ ਇਟਲੀ ਦੇ ਭੌਤਿਕ ਵਿਗਿਆਨੀ ਗੈਲੀਲਿਓ (1564-1642) ਨੇ ਇਸ ਤੱਥ ਨੂੰ ਮਾਨਤਾ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕੀਤੀ ਕਿ ਸਾਰੇ ਪਿੰਡ, ਬੇਸ਼ੱਕ, ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਪੁੰਜ ਕੁੱਝ ਵੀ ਹੋਣ, ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਪ੍ਰਵੇਗ ਨਾਲ ਧਰਤੀ ਵੱਲ ਪ੍ਰਵੇਗਿਤ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। ਅਜਿਹਾ ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਉਹਨਾਂ ਨੇ ਇਸ ਤੱਥ ਦਾ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਨ ਆਮ ਲੋਕਾਂ ਦੇ ਸਾਹਮਣੇ ਕੀਤਾ ਸੀ। ਸਚਾਈ ਲੱਭਣ ਲਈ, ਉਹਨਾਂ ਨੇ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਢਾਲੂ ਤਲਾਂ ਤੇ ਰੁੜ੍ਹਦੇ (ਲੋਟਦੇ, rolling) ਪਿੰਡਾਂ ਦੇ ਨਾਲ ਕੁੱਝ ਪ੍ਰਯੋਗ ਕਰਕੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਦਾ ਇੱਕ ਮੁੱਲ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕੀਤਾ ਸੀ, ਜੋ ਬਾਦ ਵਿੱਚ ਕੀਤੇ ਗਏ ਪ੍ਰਯੋਗਾਂ ਦੁਆਰਾ ਪ੍ਰਾਪਤ ਵਧੇਰੇ ਕਰਕੇ ਸ਼ੁੱਧ ਮੁੱਲਾਂ ਦੇ ਕਾਫ਼ੀ ਨੇੜੇ ਸੀ।

ਆਦਿ ਕਾਲ ਤੋਂ ਹੀ ਬਹੁਤ ਸਾਰੇ ਦੇਸ਼ਾਂ ਵਿੱਚ ਤਾਰਿਆਂ, ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਦੀਆਂ ਗਤੀਆਂ ਦੇ ਪ੍ਰੇਖਣ ਵਰਗੇ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਬਿਲਕੁਲ ਵੱਖਰੇ ਪ੍ਰਤੀਤ ਹੋਣ ਵਾਲੇ ਵਰਤਾਰੇ ਧਿਆਨ ਖਿੱਚਣ ਦਾ ਵਿਸ਼ਾ ਰਹੇ ਹਨ। ਆਦਿ ਕਾਲ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰੇਖਣਾਂ ਦੁਆਰਾ ਅਕਾਸ਼ ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਈ ਦੇਣ ਵਾਲੇ ਤਾਰਿਆਂ ਦੀ ਪਛਾਣ ਕੀਤੀ ਗਈ, ਜਿਹਨਾਂ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਸਾਲ-ਦਰ-ਸਾਲ ਕੋਈ ਬਦਲਾਵ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਪ੍ਰਾਚੀਨ ਕਾਲ ਵਿੱਚ ਦੇਖੇ ਜਾਣ ਵਾਲੇ ਪਿੰਡਾਂ ਵਿੱਚ ਕੁੱਝ ਵਧੇਰੇ ਰੋਚਕ ਪਿੰਡ ਵੀ ਦੇਖੇ ਗਏ, ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ ਗ੍ਰਹਿ ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਜੋ ਤਾਰਿਆਂ ਦੀ ਪਿੱਠ ਭੂਮੀ ਵਿੱਚ ਨਿਯਮਿਤ ਗਤੀ ਕਰਦੇ ਪ੍ਰਤੀਤ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। ਗ੍ਰਹਿ ਗਤੀਆਂ ਦੇ ਸਭ ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਚੀਨ ਪ੍ਰਮਾਣਿਤ ਮਾਡਲ ਨੂੰ ਹੁਣ ਤੋਂ ਲਗਭਗ 2000 ਸਾਲ ਪਹਿਲਾਂ ਪਟਾਲਮੀ (Ptolemy) ਨੇ ਪ੍ਰਸਤਾਵਿਤ ਕੀਤਾ ਸੀ। ਇਹ 'ਭੂ-ਕੇਂਦਰੀ' (Geocentric) ਮਾਡਲ ਸੀ, ਜਿਸਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਸਾਰੇ ਅਕਾਸ਼ੀ ਪਿੰਡ, ਤਾਰੇ, ਸੂਰਜ ਅਤੇ ਗ੍ਰਹਿ ਧਰਤੀ ਦੀ ਪਰਿਕਰਮਾ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਇਸ ਮਾਡਲ ਦੀ ਧਾਰਨਾ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਅਕਾਸ਼ੀ ਪਿੰਡਾਂ (Celestial bodies) ਦੀ ਸੰਭਾਵਿਤ ਗਤੀ ਸਿਰਫ਼ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਗਤੀ ਹੀ ਹੋ ਸਕਦੀ ਸੀ। ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀਆਂ ਪ੍ਰੇਖਿਤ ਗਤੀਆਂ ਦਾ ਵਰਣਨ ਕਰਨ ਦੇ ਲਈ ਪਟਾਲਮੀ ਨੇ ਗਤੀਆਂ ਦੀ ਜਿਸ ਯੋਜਨਾ ਨੂੰ ਅਗਾਂਹ ਵਧਾਇਆ ਉਹ ਬੜੀ ਗੁੰਝਲਦਾਰ ਸੀ। ਇਸਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਨੂੰ ਚੱਕਰਾਂ ਵਿੱਚ ਪਰਿਕਰਮਾਂ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਅਤੇ ਇਹਨਾਂ ਚੱਕਰਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਨੂੰ ਖੁਦ ਇੱਕ ਵੱਡੇ ਚੱਕਰ ਵਿੱਚ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਦੱਸਿਆ ਗਿਆ ਸੀ। ਇਸ ਤੋਂ ਲਗਭਗ 400 ਸਾਲ ਬਾਅਦ

ਭਾਰਤੀ ਖਗੋਲ ਸ਼ਾਸਤਰੀਆਂ ਨੇ ਵੀ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੇ ਸਿਧਾਂਤ ਬਾਰੇ ਦਸਿਆ। ਪਰੰਤੁ, ਆਰਿਆਭੱਟ (Aryabhatta) (5ਵੀਂ ਸਦੀ ਵਿੱਚ) ਨੇ ਪਹਿਲਾਂ ਹੀ ਆਪਣੇ ਸ਼ੋਧ ਪ੍ਰਬੰਧ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਬਹੁਤ ਹੀ ਵਧੀਆ ਮਾਡਲ ਦਾ ਵਰਨਣ ਕੀਤਾ ਸੀ, ਜਿਸ ਨੂੰ 'ਸੂਰਜ ਕੇਂਦਰੀ ਮਾਡਲ' (heliocentric model) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਜਿਸਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਸੂਰਜ ਨੂੰ ਸਾਰੇ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀਆਂ ਗਤੀਆਂ ਦਾ ਕੇਂਦਰ ਮੰਨਿਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਇੱਕ ਹਜ਼ਾਰ ਸਾਲ ਪਹਿਲਾਂ ਪੋਲੈਂਡ ਦੇ ਇੱਕ ਇਸਾਈ ਭਿਖਸ਼ੂ ਜਿਸਦਾ ਨਾਂ ਨਿਕੋਲਸ ਕੋਪਰਨਿਕਸ (Nicolas Copernicus 1473-1543) ਸੀ, ਨੇ ਇੱਕ ਪੂਰਨ ਵਿਕਸਿਤ ਮਾਡਲ ਪ੍ਰਸਤਾਵਿਤ ਕੀਤਾ ਜਿਸਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਸਾਰੇ ਗ੍ਰਹਿ, ਕੇਂਦਰੀ ਸਥਾਨ ਤੇ ਸਥਿਤ ਸਥਿਰ ਸੂਰਜ, ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰਾਂ ਵਿੱਚ ਪਰਿਕਰਮਾ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਗਿਰਜਾਘਰ ਨੇ ਇਸ ਸਿਧਾਂਤ ਤੇ ਸ਼ੱਕ ਪ੍ਰਗਟਾਇਆ, ਪਰ ਇਸ ਸਿਧਾਂਤ ਦੇ ਮੁੱਖ ਸਮਰਥਕਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਇੱਕ ਗੈਲੀਲਿਓ ਵੀ ਸਨ, ਜਿਹਨਾਂ ਤੇ ਸ਼ਾਸਨ ਦੁਆਰਾ, ਆਸਥਾ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਹੋਣ ਕਾਰਨ ਮੁਕੱਦਮਾ ਚਲਾਇਆ ਗਿਆ।

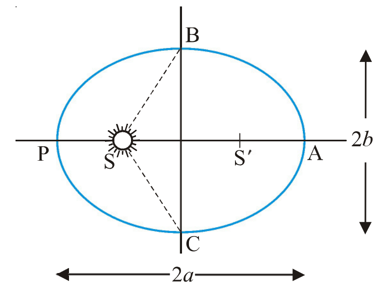
ਲਗਭਗ ਗੈਲੀਲਿਓ ਦੇ ਹੀ ਕਾਲ ਵਿੱਚ ਡੇਨਮਾਰਕ ਦੇ ਇੱਕ ਕੁਲੀਨ ਪੁਰਖ ਟਾਇਕੋ ਬ੍ਰਾਹੇ (Tycho Brahe) (1546-1601) ਨੇ ਆਪਣਾ ਸਾਰਾ ਜੀਵਨ ਕਾਲ ਆਪਣੀਆਂ ਨੰਗੀਆਂ ਅੱਖਾਂ ਨਾਲ ਸਿੱਧੇ ਹੀ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੇ ਪ੍ਰੇਖਣਾਂ ਦਾ ਅਭਿਲੇਖਣ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਲਗਾ ਦਿੱਤਾ। ਉਹਨਾਂ ਦੁਆਰਾ ਇਕੱਠੇ ਕੀਤੇ ਅੰਕੜਿਆਂ ਦਾ ਬਾਦ ਵਿੱਚ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਸਹਾਇਕ ਜੋਹਾਨਸ ਕੇਪਲਰ (Johannes Kepler) (1571-1640) ਦੁਆਰਾ ਵਿਸ਼ਲੇਸ਼ਣ ਕੀਤਾ ਗਿਆ। ਉਹਨਾਂ ਨੇ ਇਹਨਾਂ ਅੰਕੜਿਆਂ ਨੂੰ ਸਾਰ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਤਿੰਨ ਨਿਯਮਾਂ ਦੁਆਰਾ ਪੇਸ਼ ਕੀਤਾ, ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ ਹੁਣ ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਨਿਯਮਾਂ (laws of kepler) ਦੇ ਨਾਮ ਨਾਲ ਜਾਣਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਨਿਯਮ ਨਿਊਟਨ ਨੂੰ ਪਤਾ ਸਨ। ਇਹਨਾਂ ਨਿਯਮਾਂ ਨੇ ਨਿਊਟਨ ਨੂੰ ਆਪਣੇ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਣ ਦਾ ਸਰਵਵਿਆਪਕ ਨਿਯਮ ਪ੍ਰਸਤਾਵਿਤ ਕਰਕੇ ਅਸਧਾਰਨ ਵਿਗਿਆਨੀਆਂ ਦੀ ਪੰਕਤ ਵਿੱਚ ਸ਼ਾਮਿਲ ਹੋਣ ਯੋਗ ਬਣਾਇਆ।

8.2 ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਨਿਯਮ (KEPLER'S LAWS)

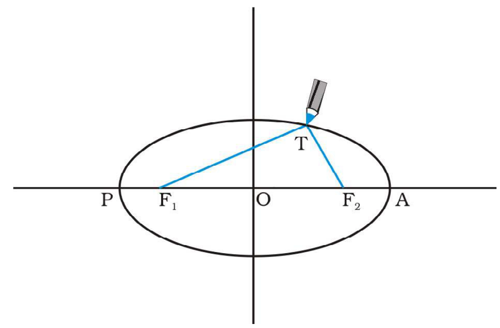
ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਤਿੰਨ ਨਿਯਮਾਂ ਦਾ ਉਲੇਖ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ —

1. ਆਰਬਿਟਾਂ (ਜਾਂ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ) ਦਾ ਨਿਯਮ (Law of orbits) – ਸਾਰੇ ਗ੍ਰਹਿ ਇਲਪਸੀ (elliptical) ਆਰਬਿਟਾਂ (orbits) ਵਿੱਚ ਗਤੀ ਕਰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸੂਰਜ ਇਸ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ, ਇੱਕ ਫੋਕਸ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। (ਚਿੱਤਰ 8.1 a)

ਇਹ ਨਿਯਮ ਕਾਪਰਨਿਕਸ ਦੇ ਮਾਡਲ ਤੋਂ ਅਲੱਗ ਸੀ। ਜਿਸਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਗ੍ਰਹਿ ਸਿਰਫ਼ ਚੱਕਰੀ ਪੱਥਾਂ (ਕਕਸ਼ਾ) (orbits) ਵਿੱਚ ਹੀ ਗਤੀ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਨ। ਇਲਿਪਸ, ਜਿਸਦਾ [ਚੱਕਰ (circle), ਇਲਿਪਸ ਦਾ ਇੱਕ ਖਾਸ ਕੇਸ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। (Circle is a special case of ellipse)] ਇੱਕ ਬੰਦ ਵਕਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਜਿਸ ਨੂੰ ਸੌਖਿਆਂ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਖਿੱਚਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ



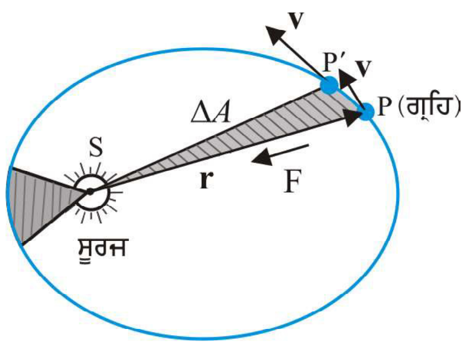
ਚਿੱਤਰ 8.1 (a) ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦੁਆਰਾ ਬਣਾਇਆ ਅੰਡਾਕਾਰ ਪੱਥ (ਇਲਿਪਸ) (ellipse)। ਸੂਰਜ ਦਾ ਸਭ ਤੋਂ ਨੇੜੇ ਵਾਲਾ ਬਿੰਦੂ P ਅਤੇ ਸਭ ਤੋਂ ਦੂਰ ਵਾਲਾ ਬਿੰਦੂ A ਹੈ। P ਨੂੰ ਉਪਸੌਰ (perihelion) ਅਤੇ A ਨੂੰ ਅਪਸੌਰ (apehelion) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਸੇਮੀਮੇਜਰ (semi-major) ਧੁਰਾ, ਦੂਰੀ AP ਦਾ ਅੱਧਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 8.1 (b) ਇੱਕ ਇਲਿਪਸ ਖਿੱਚਣਾ। ਇੱਕ ਡੋਰੀ ਦੇ ਦੋਵੇਂ ਸਿਰੇ F_1 ਅਤੇ F_2 ਸਥਿਰ ਹਨ। ਪੈਨਸਿਲ ਦੀ ਨੋਕ ਦੁਆਰਾ ਡੋਰੀ ਨੂੰ ਖਿੱਚ ਕੇ ਰੱਖਦੇ ਹੋਏ ਇਹਨਾਂ ਸਿਰਿਆਂ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚਲਾਈ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

ਦੋ ਬਿੰਦੂਆਂ F_1 ਅਤੇ F_2 ਨੂੰ ਚੁਣੋ। ਇੱਕ ਡੋਰੀ ਲੈ ਕੇ ਇਸ ਦੇ ਸਿਰਿਆਂ ਨੂੰ F_1 ਅਤੇ F_2 ਤੇ ਪਿੰਨਾਂ ਨਾਲ ਬੰਨ੍ਹੋਂ। ਪੈਨਸਿਲ ਦੀ ਨੋਕ ਨਾਲ ਡੋਰੀ ਨੂੰ ਖਿੱਚੋ ਅਤੇ ਫਿਰ ਡੋਰੀ ਨੂੰ ਖਿੱਚੀ ਹੋਈ ਰੱਖ ਕੇ ਪੈਨਸਿਲ ਨੂੰ ਚਲਾਉਂਦੇ ਹੋਏ ਇੱਕ ਬੰਦ ਵਕਰ ਖਿੱਚੋ। (ਚਿੱਤਰ 8.1 (b) ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਬੰਦ ਵਕਰ (closed curve) ਨੂੰ ਇਲਿਪਸ (ellipse) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੈ ਕਿ ਕਿਸੇ ਵੀ ਬਿੰਦੂ T ਤੇ F_1 ਅਤੇ F_2 ਤੋਂ ਦੂਰੀਆਂ ਦਾ ਜੋੜ ਨਿਸ਼ਚਿਤ (ਸਥਿਰ) ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਬਿੰਦੂ F_1 ਅਤੇ F_2 ਨੂੰ ਮਿਲਾਉ ਅਤੇ ਇਸ ਰੇਖਾ ਨੂੰ ਅੱਗੇ ਵਧਾਓ ਜਿਸ ਨਾਲ ਇਹ ਇਲਿਪਸ ਨੂੰ ਚਿੱਤਰ 8.1(b) ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਏ ਅਨੁਸਾਰ ਬਿੰਦੂਆਂ P ਅਤੇ A ਤੇ ਕੱਟਦੀ ਹੈ। ਰੇਖਾ PA ਦਾ ਮੱਧ ਬਿੰਦੂ ਇਲਿਪਸ ਦਾ ਕੇਂਦਰ ਹੈ ਅਤੇ ਲੰਬਾਈ PO = AO ਇਲਿਪਸ ਦਾ ਸੇਮੀਮੇਜਰ (semi-major) ਜਾਂ ਅਰਧ ਵੱਡਾ ਧੁਰਾ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਚੱਕਰ ਦੇ ਲਈ ਦੋਨੋਂ ਨਾਭੀਆਂ (ਫੋਕਸ, Focus ਬਹੁਵਚਨ Foci) ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਵਿੱਚ ਮਿਲ ਵਲੀਨ ਹੋ ਕੇ ਇਕ ਹੋ ਜਾਂਦੀਆਂ ਹਨ ਅਤੇ ਸੇਮੀਮੇਜਰ (ਅਰਧ ਵੱਡਾ) ਧੁਰਾ, ਚੱਕਰ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਬਣ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

2. ਖੇਤਰਫਲਾਂ ਦਾ ਨਿਯਮ (Law of areas) – ਸੂਰਜ ਤੋਂ ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਨੂੰ ਮਿਲਾਉਣ ਵਾਲੀ ਰੇਖਾ ਬਰਾਬਰ ਸਮਾਂ ਅੰਤਰਾਲਾਂ ਵਿੱਚ ਬਰਾਬਰ ਖੇਤਰਫਲ ਬੁਹਾਦਰੀ (sweep) ਹੈ। (ਚਿੱਤਰ 8.2) ਇਹ ਨਿਯਮ ਇਸ ਪ੍ਰੇਖਣ ਤੋਂ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਗ੍ਰਹਿ ਉਸ ਸਮੇਂ ਹੌਲ਼ੀ ਗਤੀ ਕਰਦੇ ਜਾਪਦੇ ਹਨ ਜਦੋਂ ਉਹ ਸੂਰਜ ਤੋਂ ਵੱਧ ਦੂਰੀ ਤੇ ਹੁੰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸੂਰਜ ਦੇ ਨੇੜੇ ਹੋਣ ਤੇ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਗਤੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਤੇਜ਼ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 8.2

3. ਆਵਰਤ ਕਾਲਾਂ ਦਾ ਨਿਯਮ (Law of periods) – ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦਾ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਇੱਕ ਚੱਕਰ ਲਗਾਉਣ ਵਿੱਚ ਲੱਗਿਆ ਸਮਾਂ ਜਿਸ ਨੂੰ ਆਵਰਤ ਕਾਲ (Time Period) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ ਦਾ ਵਰਗ ਉਸ ਗ੍ਰਹਿ ਦੁਆਰਾ ਬਣਾਏ ਇਲਿਪਸ ਦੇ ਅਰਧ ਵੱਡੇ ਧੁਰੇ ਦੇ ਘਣ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

ਅੱਗੇ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਸਾਰਨੀ (8.1) ਵਿੱਚ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਅੱਠ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੇ ਲਗਭਗ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਅਰਧ-ਵੱਡੇ-ਧੁਰੇ ਦੇ ਮਾਨਾਂ ਸਮੇਤ ਦਰਸਾਏ ਗਏ ਹਨ—

ਗ੍ਰਹਿ	a	T	Q
ਬੁੱਧ	5.79	0.24	2.95
ਸ਼ੁੱਕਰ	10.8	0.615	3.00
ਧਰਤੀ	15.0	1	2.96
ਮੰਗਲ	22.8	1.88	2.98
ਬ੍ਰਹਿਸਪਤੀ	77.8	11.9	3.01
ਸ਼ਨੀ	143	29.5	2.98
ਯੂਰੇਨਸ	287	84	2.98
ਨੇਪਚੂਨ	450	165	2.99
ਪਲੂਟੋ*	590	248	2.99

* ਪਾਠ 7 ਦੇ ਆਖਰੀ ਪੰਨੇ ਤੇ ਪਲੂਟੋ ਬਾਰੇ ਜਾਣਕਾਰੀ ਦਿੱਤੀ ਹੈ।

ਸਾਰਨੀ 8.1 ਅੱਗੇ ਦਿੱਤੇ ਗ੍ਰਹਿ ਗਤੀਆਂ ਦੀ ਮਾਪ ਦੇ ਅੰਕੜੇ ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਆਵਰਤ-ਕਾਲਾਂ ਦੇ ਨਿਯਮ ਦੀ ਪੁਸ਼ਟੀ ਕਰਦੇ ਹਨ।

(**a** = ਅਰਧ ਵੱਡਾ ਧੁਰਾ $\mathbf{10^{10}\ m}$ ਦੇ ਮਾਤਰਕਾਂ ਵਿੱਚ

T = ਗ੍ਰਹਿ ਦਾ ਪਰਿਕਰਮਾਂ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਸਾਲਾਂ ਵਿੱਚ

(y) (Time period of revolution)

Q = ਭਾਗਫਲ ($\mathbf{T^2/a^3}$), $\mathbf{10^{-34}\ y^2\ m^{-3}}$

ਖੇਤਰਫਲਾਂ ਦੇ ਨਿਯਮ ਨੂੰ ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਣ (Conservation of angular momentum) ਦਾ ਨਤੀਜਾ ਮੰਨਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਜੋ ਸਾਰੇ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲਾਂ ਲਈ ਮੰਨਣਯੋਗ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲਾ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ, ਕੇਂਦਰੀ ਸੂਰਜ ਅਤੇ ਗ੍ਰਹਿ ਨੂੰ ਮਿਲਾਉਣ ਵਾਲੇ ਸਦਿਸ਼ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਮੰਨ ਲਓ ਸੂਰਜ ਮੂਲ ਬਿੰਦੂ (origin) ਤੇ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ ਵੀ ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਅਤੇ ਸੰਵੇਗ ਨੂੰ ਕ੍ਰਮਵਾਰ **r** ਅਤੇ **p** ਨਾਲ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ, ਤਦ m ਪੁੰਜ ਦੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦੁਆਰਾ Δt ਸਮੇਂ ਵਿੱਚ ਸਵੀਪ ਕੀਤੇ ਖੇਤਰਫਲ $\Delta\mathbf{A}$। (ਚਿੱਤਰ 8.2) ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

$$\Delta\mathbf{A} = ½\ (\mathbf{r} \times \mathbf{v}\Delta t) \qquad (8.1)$$

ਇਸ ਲਈ

$$\Delta\mathbf{A}/\Delta t = ½\ (\mathbf{r} \times \mathbf{p})/m, \text{ (ਕਿਉਂਕਿ } \mathbf{v} = \mathbf{p}/m)$$

$$= \mathbf{L}/(2\ m) \qquad (8.2)$$

ਜਿੱਥੇ **v** ਵੇਗ ਹੈ ਅਤੇ **L** ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਹੈ ਜੋ (**r** × **p**) ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਜੋ **r** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋਵੇ ਦੇ ਲਈ , **L** ਇੱਕ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਜਦੋਂ ਕਿ ਗ੍ਰਹਿ ਪਰਿਕਰਮਾਂ ਕਰ ਰਿਹਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਅੰਤਿਮ ਸਮੀਕਰਨ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ $\Delta\mathbf{A}/\Delta t$ ਇੱਕ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੈ। ਇਹੀ ਖੇਤਰਫਲਾਂ ਦਾ ਨਿਯਮ ਹੈ। ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦਾ ਬਲ ਵੀ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਹੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸ ਲਈ ਖੇਤਰਫਲਾਂ ਦਾ ਨਿਯਮ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਨੀ ਨਿਯਮਾਂ ਦੇ ਇਸੇ ਗੁਣ ਦਾ ਪਾਲਨ ਕਰਦਾ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 8.1** ਮੰਨ ਲਓ ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਉਪਸੌਰ (Perihelion) (ਸੂਰਜ ਸਮੀਪਕ ਬਿੰਦੂ) ਤੇ (ਚਿੱਤਰ 8.1(a)) ਚਾਲ v_P ਹੈ, ਅਤੇ ਸੂਰਜ ਤੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਦੂਰੀ SP = r_P ਹੈ। $\{r_P, v_P\}$ ਅਤੇ ਅਪਸੌਰ (Aphelion) ਤੇ ਇਹਨਾਂ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਦੇ ਸੰਗਤ ਮਾਨ $\{r_A, v_A\}$ ਵਿੱਚ ਸੰਬੰਧ ਸਥਾਪਿਤ ਕਰੋ। ਕੀ ਗ੍ਰਹਿ, *BAC* ਅਤੇ *CPB* ਪਥ ਤੈਅ ਕਰਨ ਲਈ ਬਰਾਬਰ ਸਮਾਂ ਲਵੇਗਾ ?

ਹੱਲ : ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਦਾ ਬਿੰਦੂ P ਤੇ ਪਰਿਮਾਣ ਹੈ-

$$L_p = m_p r_p v_p$$

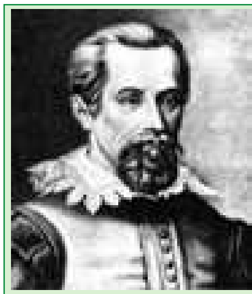
ਕਿਉਂਕਿ ਨਿਰੀਖਣ ਦੁਆਰਾ ਇਹ ਪਤਾ ਚਲਦਾ ਹੈ ਕਿ $\mathbf{r}_p$ ਅਤੇ $\mathbf{v}_p$ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਲੰਬ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹਨ। ਇਸੇ ਤਰ੍ਹਾਂ, $L_A = m_p r_A v_A$ ਹੈ। ਤਦ ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਤੋਂ

$$m_p r_p v_p = m_p r_A v_A$$

ਜਾਂ $$\frac{v_p}{v_A} = \frac{r_A}{r_p}$$

ਕਿਉਂਕਿ $r_A > r_p$, $v_p > v_A$

ਇਲਿਪਸ ਅਤੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਸਦਿਸ਼ਾਂ *SB* ਅਤੇ *SC* ਦੁਆਰਾ ਘੇਰਿਆ ਗਿਆ ਖੇਤਰਫਲ SBAC, SBPC ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਵੱਧ ਹੈ। (ਚਿੱਤਰ 8.1 a) ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਬਰਾਬਰ ਸਮਾਂ ਅੰਤਰਾਲਾਂ ਵਿੱਚ ਬਰਾਬਰ ਖੇਤਰਫਲ ਸਵੀਪ (sweep) ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਗ੍ਰਹਿ, ਪੱਥ CPB ਨੂੰ ਤੈਅ ਕਰਨ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਪੱਥ BAC ਨੂੰ ਤੈਅ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਵੱਧ ਸਮਾਂ ਲਵੇਗਾ। ◀



ਜੋਹਾਨਸ ਕੇਪਲਰ (1571-1630) (Johannes Kepler) ਜਰਮਨ ਮੂਲ ਦੇ ਵਿਗਿਆਨੀ ਸਨ। ਉਹਨਾਂ ਨੇ ਟਾਇਕੋ ਬ੍ਰਾਹੇ (Tycho Brahe) ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਸਹਿਯੋਗੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਬਹੁਤ ਹੀ ਮਿਹਨਤ ਨਾਲ ਕੀਤੇ ਗਏ ਪ੍ਰੇਖਣਾ ਦੇ ਅਧਾਰ ਤੇ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਗਤੀ ਦੇ ਤਿੰਨ ਨਿਯਮਾਂ ਨੂੰ ਪੇਸ਼ ਕੀਤਾ। ਕੇਪਲਰ ਖ਼ੁਦ ਬ੍ਰਾਹੇ ਦੇ ਸਹਾਇਕ ਸਨ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਨੂੰ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੇ ਤਿੰਨ ਨਿਯਮਾਂ ਤੱਕ ਪੁੱਜਣ ਵਿੱਚ 16 ਸਾਲਾਂ ਦਾ ਲੰਬਾ ਸਮਾਂ ਲੱਗਿਆ। ਉਹ ਪਹਿਲੇ ਵਿਅਕਤੀ ਸਨ ਜਿਹਨਾਂ ਨੇ ਇਹ ਦੱਸਿਆ ਕਿ ਦੂਰਦਰਸ਼ੀ (Telescope) ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਵੇਸ਼ ਕਰਨ ਤੇ ਪ੍ਰਕਾਸ਼ ਦਾ ਕੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸਲਈ, ਉਹ ਜਿਆਮਤੀ ਪ੍ਰਕਾਸ਼ਕੀ (Geometrical Optics) ਦੇ ਸੰਸਥਾਪਕ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਵੀ ਜਾਣੇ ਜਾਂਦੇ ਹਨ।

8.3 ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਦਾ ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਨਿਯਮ (UNIVERSAL LAW OF GRAVITATION)

ਇੱਕ ਦੰਦ ਕਥਾ ਵਿੱਚ ਲਿਖਿਆ ਹੈ ਕਿ ਰੁੱਖ ਤੋਂ ਡਿਗਦੇ ਸੇਬ ਦਾ ਪ੍ਰੇਖਣ ਕਰਦੇ ਹੋਏ ਨਿਊਟਨ ਨੂੰ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦੇ ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਨਿਯਮ ਤਕ ਪੁੱਜਣ ਦੀ ਪ੍ਰੇਰਣਾ ਮਿਲੀ ਜਿਸ ਨਾਲ ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਨਿਯਮਾਂ ਅਤੇ ਧਰਤੀ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਤ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦੇ ਸਪਸ਼ਟੀਕਰਨ ਦਾ ਰਸਤਾ ਖੁੱਲ੍ਹਿਆ। ਨਿਊਟਨ ਨੇ ਆਪਣੀ ਸੋਚ ਸਮਝ ਦੇ ਆਧਾਰ ਤੇ ਇਹ ਅਨੁਭਵ ਕੀਤਾ ਕਿ R_m ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ (orbit) ਵਿੱਚ ਪਰਿਕ੍ਰਮਾ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਚੰਦਰਮਾ ਤੇ ਧਰਤੀ ਦੀ ਗੁਰੂਤਾ ਕਾਰਨ ਇੱਕ ਅਭਿਕੇਂਦਰੀ (centripetal) ਪ੍ਰਵੇਗ ਲੱਗਦਾ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਪਰਿਮਾਣ ਹੈ।

$$a_m = \frac{V^2}{R_m} = \frac{4\pi^2 R_m}{T^2} \qquad (8.3)$$

ਇੱਥੇ V ਚੰਦਰਮਾ ਦੀ ਚਾਲ ਹੈ ਜੋ ਆਵਰਤ-ਕਾਲ T ਨਾਲ ਅੱਗੇ ਦੱਸੇ ਅਨੁਸਾਰ ਸੰਬੰਧਤ ਹੈ, $V = 2\pi R_m / T$। ਆਵਰਤ ਕਾਲ T ਦਾ ਮਾਨ ਲਗਭਗ 27.3 ਦਿਨ ਹੈ ਅਤੇ ਉਸ ਸਮੇਂ ਤੱਕ R_m ਦਾ ਮਾਨ ਲਗਭਗ 3.84×10^8m ਪਤਾ ਲੱਗ ਚੁੱਕਿਆ ਸੀ। ਜੇ ਅਸੀਂ ਇਹਨਾਂ ਸੰਖਿਆਵਾਂ ਨੂੰ ਸਮੀਕਰਨ (8.3) ਵਿੱਚ ਭਰੀਏ ਤਾਂ ਸਾਨੂੰ a_m ਦਾ ਜੋ ਮਾਨ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਉਹ ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਪੈਦਾ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ g ਦੇ ਮਾਨ ਤੋਂ ਬਹੁਤ ਘੱਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਸਪੱਸ਼ਟ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਇਸ ਤੱਥ ਨੂੰ ਦਰਸਾਉਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦਾ ਮਾਨ ਦੂਰੀ ਦੇ ਨਾਲ ਘੱਟ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਅਸੀਂ ਇਹ ਮੰਨ ਲਈਏ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕਾਰਨ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦਾ ਮਾਨ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਦੂਰੀ ਦੇ ਵਰਗ ਦੇ ਉਲਟ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਸਾਨੂੰ $a_m \alpha R_m^{-2}$ ਅਤੇ $g \alpha R_E^{-2}$ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੋਵੇਗਾ (ਜਿੱਥੇ R_E ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਹੈ), ਜਿਸ ਨਾਲ ਸਾਨੂੰ ਹੇਠ ਲਿਖਿਆ ਸੰਬੰਧ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ :

$$\frac{g}{a_m} = \frac{R_m^2}{R_E^2} \simeq 3600 \qquad (8.4)$$

ਜੋ $g \simeq 9.8$ m s^{-2} ਅਤੇ ਸਮੀਕਰਨ (8.3) ਤੋਂ a_m ਦੇ ਮਾਨ ਦੇ ਨਾਲ ਮੇਲ ਖਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਪ੍ਰੇਖਣ ਨੇ ਨਿਊਟਨ ਨੂੰ ਹੇਠਾਂ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦੇ ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਨਿਯਮ ਨੂੰ ਸਥਾਪਿਤ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਮਾਰਗ ਦਰਸ਼ਨ ਦਿੱਤਾ :

"ਇਸ ਬ੍ਰਾਹਮੰਡ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਪਿੰਡ ਹਰ ਦੂਸਰੇ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਇੱਕ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਆਕਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਪਰਿਮਾਣ ਦੋਵੇਂ ਪਿੰਡਾਂ ਦੇ ਪੁੰਜਾਂ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਵਿੱਚਲੀ ਦੂਰੀ ਦੇ ਵਰਗ ਦੇ ਉਲਟ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।"

ਇਹ ਕੋਟੇਸ਼ਨ (quotation) ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਮਸ਼ਹੂਰ ਸ਼ੋਧ ਪ੍ਰਬੰਧ "ਪ੍ਰਾਕ੍ਰਿਤਕ ਦਰਸ਼ਨ ਦੇ ਗਣਿਤਕ ਸਿਧਾਂਤ" 'Mathematical Principles of Natural Philosophy ਜਿਸ ਨੂੰ ਸੰਖੇਪ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਿੰਸੀਪਿਆ (Principia) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ, ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ
(Central forces)

ਸਾਨੂੰ ਪਤਾ ਹੈ, ਕਿ ਮੂਲ ਬਿੰਦੂ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਕਿਸੇ ਇਕਲੇ ਕਣ ਦੇ ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਵਿੱਚ, ਸਮੇਂ ਦੇ ਨਾਲ ਹੋਣ ਵਾਲੇ ਪਰਿਵਰਤਨ ਦੀ ਦਰ ਅੱਗੇ ਲਿਖੇ ਅਨੁਸਾਰ ਹੈ,

$$\frac{d\boldsymbol{l}}{dt} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$$

ਜੇ ਉਸ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਟਾਰਕ $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਕਣ ਦਾ ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ (angular momentum) ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ, ਇਹ ਉਦੋਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ ਜਾਂ ਤਾਂ **F** ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇ ਜਾਂ ਬਲ **r** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋਵੇ। ਅਸੀਂ ਉਹਨਾਂ ਬਲਾਂ ਦੀ ਚਰਚਾ ਕਰਾਂਗੇ ਜੋ ਦੂਸਰੀ ਸ਼ਰਤ ਪੂਰੀ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਉਹਨਾਂ ਬਲਾਂ ਦੇ ਉਦਾਹਰਨ ਹਨ ਜੋ ਇਹ ਸ਼ਰਤ ਪੂਰੀ ਕਰਦੇ ਹਨ।

ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ, ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਹੀ ਜਾਂ ਤਾਂ ਇੱਕ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਬਿੰਦੂ ਵਲ ਜਾਂ ਇਸ ਤੋਂ ਦੂਰ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਲੱਗੇ ਹੁੰਦੇ ਹਨ, ਮਤਲਬ, ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਬਿੰਦੂ ਦੇ ਸਾਪੇਖ ਬਲ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਬਿੰਦੂ ਦੇ ਸਥਿਤੀ ਸਦਿਸ਼ (Position Vector) ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। (ਦੇਖੋ ਚਿੱਤਰ)। ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਦਾ ਪਰਿਮਾਣ F, ਸਿਰਫ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਬਿੰਦੂ ਤੋਂ ਬਲ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਬਿੰਦੂ ਦੀ ਦੂਰੀ, r ਉਪਰ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ, F = F (r) ।

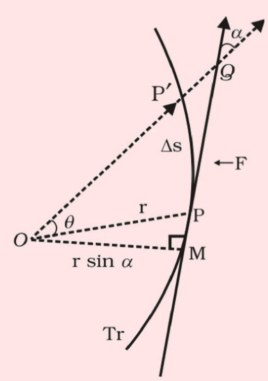
ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਦੇ ਤਹਿਤ ਗਤੀ ਵਿੱਚ ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਸਦਾ ਹੀ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤੋਂ ਦੋ ਸਿੱਧੇ ਨਤੀਜੇ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦੇ ਹਨ।

(1) ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਦੇ ਤਹਿਤ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦੀ ਗਤੀ ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਇੱਕ ਸਮਤਲ ਵਿੱਚ ਸੀਮਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ।

(2) ਬਲ ਦੇ ਕੇਂਦਰ (ਮਤਲਬ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਬਿੰਦੂ) ਤੋਂ, ਲਏ ਗਏ ਕਣ ਦੇ ਸਥਿਤੀ ਸਦਿਸ਼ (Position Vector) ਦਾ ਖੇਤਰਫਲੀ ਵੇਗ (areal velocity) ਸਥਿਰ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਦੂਸਰੇ ਸ਼ਬਦਾਂ ਵਿੱਚ ਕਹੀਏ ਤਾਂ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਦੇ ਤਹਿਤ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਕਣ ਦਾ ਸਥਿਤੀ ਸਦਿਸ਼ ਬਰਾਬਰ ਸਮੇਂ ਵਿੱਚ ਬਰਾਬਰ ਖੇਤਰਫਲ ਬੁਹਾਰਦਾ (sweeps out) ਹੈ।

ਅਸੀਂ ਇਹਨਾਂ ਦੋਵੇਂ ਕਥਨਾਂ ਦੀ ਉਤਪਤੀ ਦੀ ਕੋਸ਼ਿਸ਼ ਕਰਾਂਗੇ। ਤੁਹਾਡੇ ਲਈ ਸ਼ਾਇਦ ਇਹ ਜਾਣਨਾ ਜ਼ਰੂਰੀ ਹੋਵੇਗਾ ਕਿ ਖੇਤਰਫਲੀ ਵੇਗ, $\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} rV \sin\alpha$ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਵੇਚਨ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਅਸੀਂ ਸੂਰਜ ਦੇ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਨਾਲ ਇਸਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਘੁੰਮ ਰਹੇ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਗਤੀ ਦੇ ਸੰਦਰਭ ਵਿੱਚ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਸਹੂਲਤ ਲਈ ਅਸੀਂ ਸੂਰਜ ਨੂੰ ਇਨ੍ਹਾਂ ਭਾਰਾ ਮੰਨ ਸਕਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਇਸਦੀ ਸਥਿਤੀ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰਹੇ। ਗ੍ਰਹਿ ਤੇ ਸੂਰਜ ਦਾ ਆਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਸਦਾ ਸੂਰਜ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਲੱਗਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਬਲ ਸ਼ਰਤ F = F (r) ਵੀ ਪੂਰੀ ਕਰਦਾ ਹੈ, ਕਿਉਂਕਿ, $F = Gm_1 m_2 / r^2$ ਜਿੱਥੇ m_1 ਅਤੇ m_2 ਕ੍ਰਮਵਾਰ ਗ੍ਰਹਿ ਅਤੇ ਸੂਰਜ ਦੇ ਪੁੰਜ ਹਨ ਅਤੇ G ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦਾ ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੈ। ਇਸਲਈ ਉਪਰ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਦੋਵੇਂ ਕਥਨਾਂ (1) ਅਤੇ (2) ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਗਤੀ ਦੇ ਲਈ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। ਅਸਲ ਵਿੱਚ ਕਥਨ (2) ਕੇਪਲਰ ਦਾ ਮਸ਼ਹੂਰ ਦੂਸਰਾ ਨਿਯਮ ਹੈ।



Tr ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਦੇ ਤਹਿਤ, ਕਣ ਦਾ ਗਮਨ ਪੱਥ (trajectory) ਹੈ। ਕਣ ਦੀ ਕਿਸੇ ਸਥਿਤੀ P ਤੇ ਬਲ OP ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। O ਬਲ ਦਾ ਕੇਂਦਰ ਹੈ ਜਿਸ ਨੂੰ ਮੂਲ ਬਿੰਦੂ ਲੈ ਲਿਆ ਗਿਆ ਹੈ। Δt ਸਮੇਂ ਵਿੱਚ ਕਣ P ਅਤੇ P′ ਤਕ ਚਾਪ $\Delta s = v\,\Delta t$ ਦੇ ਉਪਰ ਚਲਦਾ ਹੈ। ਗਮਨ ਪੱਥ (trajectory) ਦੇ ਬਿੰਦੂ P ਤੇ ਖਿਚੀ ਗਈ ਸਪਰਸ਼ ਰੇਖਾ PQ ਇਸ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਵੇਗ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਦਰਸਾਉਂਦੀ ਹੈ। Δt ਸਮੇਂ ਵਿੱਚ, r ਸੈਕਟਰ POP′ $\approx (r \sin\alpha)$ PP′/2 $\approx (r\, v \sin\alpha)\, \Delta t/2$.)

ਗਣਿਤਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਨਿਯਮ ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਕਿਹਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ, ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m_2 ਤੇ ਕਿਸੇ ਹੋਰ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m_1 ਦੇ ਕਾਰਨ **F** ਬਲ ਦਾ ਪਰਿਮਾਣ

$$|\mathbf{F}| = G\,\frac{m_1\, m_2}{r^2} \qquad (8.5)$$

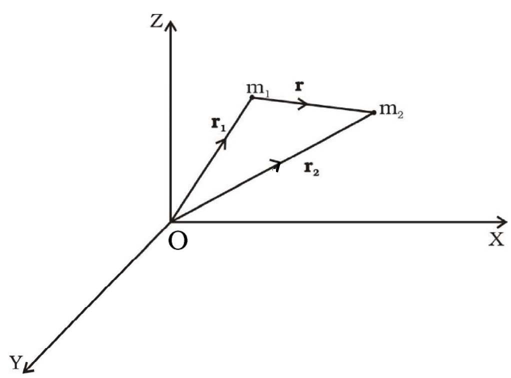
ਸਮੀਕਰਨ (8.5) ਨੂੰ ਸਦਿਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 \ m_2}{r^2}\left(-\hat{\mathbf{r}}\right)$$

$$= -G \frac{m_1 \ m_2}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

$$= -G \frac{m_1 \ m_2}{|\mathbf{r}|^3}\vec{\mathbf{r}}$$

ਜਿੱਥੇ G ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਨੀ ਸਥਿਰ ਅੰਕ $\hat{\mathbf{r}}$, m_1 ਤੋਂ m_2 ਤੱਕ ਇਕਾਈ ਸਦਿਸ਼ (unit vector) ਹੈ ਅਤੇ $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 8.3 ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ।

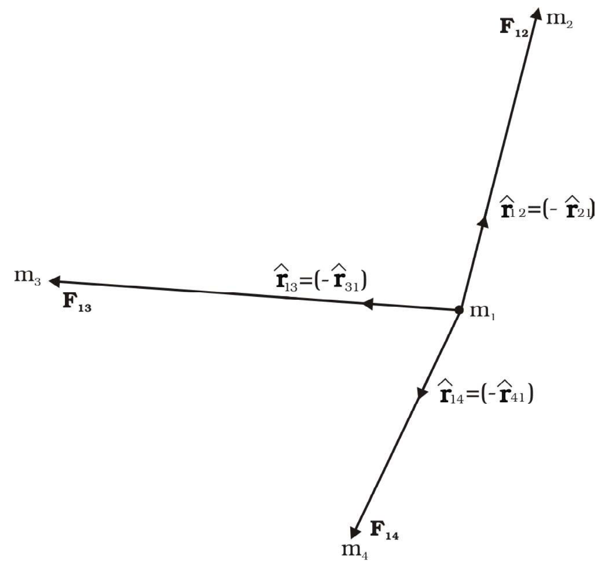


ਚਿੱਤਰ 8.3 m_2 ਦੇ ਕਾਰਨ m_1 ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ **r** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿਚ ਹੈ ਜਿੱਥੇ $r = r_2 - r_1$ ਜਾਂ $r = (r_2 - r_1)$ ਹੈ।

ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਆਕਰਸ਼ੀ ਬਲ ਹੈ, ਅਰਥਾਤ m_2 ਤੇ m_1 ਦੇ ਕਾਰਨ ਲੱਗਣ ਵਾਲਾ ਬਲ **F**, – **r** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੈ। ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਗਤੀ ਦੇ ਤੀਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਅਸਲ ਵਿੱਚ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m_1 ਉੱਪਰ m_2 ਦੇ ਕਾਰਨ ਬਲ – **F** ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ m_1 ਉੱਪਰ m_2 ਦੇ ਕਾਰਨ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਨ ਬਲ $\mathbf{F}_{12}$ ਅਤੇ m_2 ਉੱਪਰ m_1 ਦੇ ਕਾਰਨ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਬਲ $\mathbf{F}_{21}$ ਦਾ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਸੰਬੰਧ ਹੈ,

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

ਸਮੀਕਰਨ (8.5) ਦੀ ਵਰਤੋਂ, ਆਪਣੇ ਨੇੜੇ ਦੇ ਪਿੰਡਾਂ ਤੇ ਕਰ ਸਕਣ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਸਾਨੂੰ ਸਾਵਧਾਨ ਰਹਿਣਾ ਹੋਵੇਗਾ, ਕਿਉਂਕਿ ਇਹ ਨਿਯਮ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜਾਂ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਤ ਹੈ, ਜਦੋਂ ਕਿ ਅਸੀਂ ਵਿਸਤਾਰਿਤ ਪਿੰਡਾਂ (extended bodies), ਜਿਹਨਾਂ ਦਾ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਆਕਾਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰਨਾ ਹੈ। ਜੇ ਸਾਡੇ ਕੋਲ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜਾਂ ਦਾ ਕੋਈ ਇਕੱਠ ਹੈ, ਤਾਂ ਉਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਕਿਸੇ ਇੱਕ ਬਿੰਦੂਤੇ ਬਲ ਹੋਰ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜਾਂ ਦੇ ਕਾਰਨ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲਾਂ ਦੇ ਸਦਿਸ਼ ਜੋੜ (vector sum) ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 8.4 ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 8.4 ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m_1, ਤੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜਾਂ m_2, m_3 ਅਤੇ m_4 ਦੁਆਰਾ ਲਗਾਇਆ ਕੁੱਲ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਇਹਨਾਂ ਪੁੰਜਾਂ ਦੁਆਰਾ m_1 ਤੇ ਲਗਾਏ ਗਏ ਇਕੱਲੇ-ਇਕੱਲੇ ਬਲ ਦੇ ਸਦਿਸ਼ ਜੋੜ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

m_1 ਤੇ ਕੁੱਲ ਬਲ ਹੈ

$$\mathbf{F}_1 = \frac{Gm_2 m_1}{r_{21}^2}\hat{\mathbf{r}}_{21} + \frac{Gm_3 m_1}{r_{31}^2}\hat{\mathbf{r}}_{31} + \frac{Gm_4 m_1}{r_{41}^2}\hat{\mathbf{r}}_{41}$$

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 8.2** ਕਿਸੇ ਸਮਬਾਹੂ ਤ੍ਰਿਭੁਜ ABC ਦੇ ਹਰੇਕ ਸਿਖਰ ਤੇ m kg ਦੇ ਤਿੰਨ ਬਰਾਬਰ ਪੁੰਜ ਰੱਖੇ ਹਨ

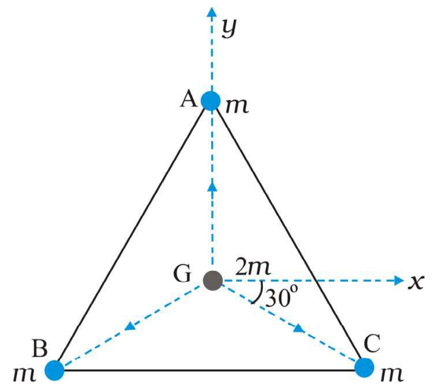
(a) ਇਸ ਤ੍ਰਿਭੁਜ ਦੇ ਕੇਂਦਰਕ G ਤੇ ਰਖੇ $2m$ kg ਪੁੰਜ ਤੇ ਕਿੰਨਾਂ ਬਲ ਲੱਗ ਰਿਹਾ ਹੈ ?

(b) ਜੇ ਸਿਖਰ A ਤੇ ਰੱਖੇ ਪੁੰਜ ਨੂੰ ਦੋ ਗੁਣਾ ਕਰ ਦਿੱਤਾ ਜਾਵੇ ਤਾਂ ਕਿਨਾਂ ਬਲ ਲਗੇਗਾ ?

$AG = BG = CG = 1$ m ਲਓ (ਦੇਖੋ ਚਿੱਤਰ 8.5)

ਹੱਲ : ਧਨਾਤਮਕ x-ਧੁਰੇ ਅਤੇ GC ਦੇ ਵਿੱਚਲਾ ਕੋਣ 30° ਹੈ ਅਤੇ ਇਨਾਂ ਹੀ ਕੋਣ ਰਿਣਾਤਮਕ x-ਧੁਰੇ ਅਤੇ GB ਦੇ ਵਿੱਚ ਬਣਿਆ ਹੈ। ਸਦਿਸ਼ ਸੰਕੇਤ ਪ੍ਰਣਾਲੀ ਵਿੱਚ ਇਕੱਲੇ-ਇਕੱਲੇ ਬਲ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਹਨ-

$$\mathbf{F}_{GA} = \frac{Gm(2m)}{1}\hat{\mathbf{j}}$$



ਚਿੱਤਰ 8.5 ਤਿੰਨ ਬਰਾਬਰ ਪੁੰਜ ਤ੍ਰਿਭੁਜ ABC ਦੇ ਤਿੰਨ ਸਿਖਰਾਂ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹਨ ਇਸਦੇ ਕੇਂਦਰਕ G ਤੇ ਕੋਈ ਪੁੰਜ 2m ਰਖਿਆ ਗਿਆ ਹੈ।

$$\mathbf{F}_{GB} = \frac{Gm(2m)}{1}\left(-\hat{\mathbf{i}}\cos 30^o - \hat{\mathbf{j}}\sin 30^o\right)$$

$$\mathbf{F}_{GC} = \frac{Gm(2m)}{1}\left(+\hat{\mathbf{i}}\cos 30^o - \hat{\mathbf{j}}\sin 30^o\right)$$

ਸੁਪਰਪੋਜੀਸ਼ਨ (superposition) ਸਿਧਾਂਤ ਅਤੇ ਸਦਿਸ਼ ਯੋਗ ਨਿਯਮ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ($2m$) ਤੇ ਪਰਿਣਾਮੀ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_{GA} + \mathbf{F}_{GB} + \mathbf{F}_{GC}$$

$$\mathbf{F}_R = 2Gm^2\,\hat{\mathbf{j}} + 2Gm^2\left(-\hat{\mathbf{i}}\cos 30^o - \hat{\mathbf{j}}\sin 30^o\right)$$
$$+ 2Gm^2\left(\hat{\mathbf{i}}\cos 30^o - \hat{\mathbf{j}}\sin 30^o\right) = 0$$

ਵਿਕਲਪ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ, ਸਮਮਿਤੀ ਦੇ ਆਧਾਰ ਤੇ ਇਹ ਉਮੀਦ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ ਹੈ ਕਿ ਪਰਿਣਾਮੀ ਬਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ।

(b) ਸਮਮਿਤੀ ਦੁਆਰਾ ਬਲਾਂ ਦੇ x-ਘਟਕ ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਨੂੰ ਨਿਰਸਤ ਕਰ ਦਿੰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸਿਰਫ਼ y-ਘਟਕ ਹੀ ਬਚੇ ਰਹਿੰਦੇ ਹਨ।

$$\mathbf{F}_R = 4Gm^2\hat{\mathbf{j}} - 2Gm^2\hat{\mathbf{j}} = 2Gm^2\hat{\mathbf{j}}$$

ਕਿਸੇ ਵਿਸਤਾਰਿਤ ਪਿੰਡ (ਜਿਵੇਂ ਧਰਤੀ) ਅਤੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਦੇ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਦੇ ਲਈ ਸਮੀਕਰਨ (8.5) ਦੀ ਸਿੱਧੇ ਹੀ ਵਰਤੋਂ ਨਹੀਂ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ। ਵਿਸਤਾਰਿਤ ਪਿੰਡ ਦਾ ਹਰੇਕ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਤੇ ਬਲ ਲਗਾਉਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹਨਾਂ ਸਾਰੇ ਬਲਾਂ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਬਰਾਬਰ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀ। ਅਸੀਂ ਇਹਨਾਂ ਬਲਾਂ ਦਾ ਸਦਿਸ਼ ਰੀਤੀ ਨਾਲ ਜੋੜ ਕਰਨਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਕਿ ਵਿਸਤਾਰਿਤ ਪਿੰਡ ਦੇ ਹਰੇਕ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਦੇ ਕਾਰਨ ਲੱਗਿਆ ਕੁੱਲ ਬਲ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੋ ਜਾਵੇ। ਅਜਿਹਾ ਅਸੀਂ ਸੌਖਿਆਂ ਹੀ ਕੈਲਕੁਲਸ (calculus) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਜਦੋਂ ਅਸੀਂ ਅਜਿਹਾ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਦੋ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਸਥਿਤੀਆਂ ਵਿੱਚ ਸਰਲ ਨਤੀਜੇ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ।

(1) **ਕਿਸੇ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਘਣਤਾ (uniform density) ਦੇ ਖੋਖਲੇ ਗੋਲ ਖੋਲ (hollow spherical shell) ਅਤੇ ਖੋਲ ਦੇ ਬਾਹਰ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਦੇ ਵਿੱਚ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਠੀਕ-ਠਾਕ ਉਨ੍ਹਾਂ ਹੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਿਨ੍ਹਾਂ ਕਿ ਖੋਲ ਦੇ ਸਾਰੇ ਪੁੰਜ ਨੂੰ ਉਸਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਮੰਨ ਕੇ ਗਿਆਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।**

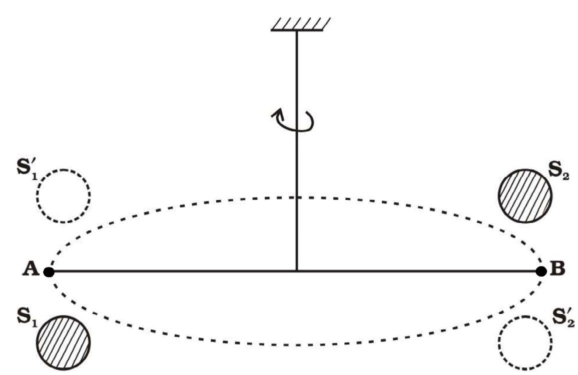
ਗੁਣਾਤਮਕ ਰੂਪ (qualitatively) ਵਿੱਚ ਇਸ ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਮਝਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਖੋਲ ਦੇ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਖੇਤਰਾਂ ਦੇ ਕਾਰਨ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲਾਂ ਦੇ, ਖੋਲ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਨੂੰ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਨਾਲ ਮਿਲਾਉਣ ਵਾਲੀ ਰੇਖਾ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਅਤੇ ਇਸਦੇ ਲੰਬ, ਦੋਵੇਂ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਘਟਕ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। ਖੋਲ ਦੇ ਸਾਰੇ ਖੇਤਰਾਂ ਦੇ ਬਲਾਂ ਦੇ ਘਟਕਾਂ ਦਾ ਜੋੜ ਕਰਦੇ ਸਮੇਂ ਇਸ ਰੇਖਾ ਦੇ ਲੰਬ ਦਿਸ਼ਾ ਦੇ ਘਟਕ ਨਿਰਸਤ (cancel) ਹੋ ਜਾਂਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸਿਰਫ ਖੋਲ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਨੂੰ ਮਿਲਾਉਣ ਵਾਲੀ ਰੇਖਾ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਣਾਮੀ ਬਲ ਬਚਿਆ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਪਰਿਣਾਮੀ ਬਲ ਦਾ ਪਰਿਣਾਮ ਵੀ ਉਪਰ ਦਸੀ ਗਈ ਵਿਧੀ ਦੁਆਰਾ ਗਿਆਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।

(2) **ਇੱਕ ਸਮਾਨ ਘਣਤਾ ਦੇ ਕਿਸੇ ਖੋਖਲੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਕਾਰਨ ਉਸਦੇ ਅੰਦਰ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਤੇ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।**

ਗੁਣਾਤਮਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ, ਅਸੀਂ ਫਿਰ ਤੋਂ ਇਸ ਨਤੀਜੇ ਨੂੰ ਸਮਝ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਗੋਲ ਖੋਲ ਦੇ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਖੇਤਰਾਂ ਦੇ ਅੰਦਰ ਸਥਿਤ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਨੂੰ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਆਕਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਇਹ ਬਲ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਨੂੰ ਨਿਰਸਤ ਕਰ ਦਿੰਦੇ ਹਨ।

8.4 ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਰ ਅੰਕ (THE GRAVITATIONAL CONSTANT)

ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦੇ ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਨਿਯਮ ਵਿੱਚ ਵਰਤਿਆ ਜਾਂਦਾ ਵਿਸ਼ਵ ਵਿਆਪੀ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਰ ਅੰਕ G ਦੇ



ਚਿੱਤਰ 8.6 ਕੈਵੇਨਡਿਸ਼ ਦੇ ਪ੍ਰਯੋਗ ਦਾ ਯੋਜਨਾ ਅਨੁਸਾਰ ਆਰੇਖਨ। S_1 ਅਤੇ S_2 ਦੋ ਵਿਸ਼ਾਲ ਗੋਲੇ ਹਨ (ਸ਼ੇਡਡ ਵਿਖਾਏ ਗਏ ਹਨ) ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ A ਅਤੇ B ਤੇ ਸਥਿਤ ਪਿੰਡਾਂ ਦੇ ਕਿਸੇ ਇੱਕ ਪਾਸੇ ਰਖਿਆ ਗਿਆ ਹੈ ਜਦੋਂ ਵੱਡੇ ਗੋਲੇ ਨੂੰ (ਡਾਟਡ ਚੱਕਰ ਦੁਆਰਾ ਦਿਖਾਇਆ ਹੈ) ਪਿੰਡ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਪਾਸੇ ਲੈ ਜਾਂਦੇ ਹਾਂ ਤਾਂ ਛੜ AB ਥੋੜ੍ਹਾ ਜਿਹਾ ਘੁੰਮਦੀ ਹੈ ਕਿਉਂਕਿ ਟਾਰਕ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਉਲਟ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਘੁੰਮਣ ਕੋਣ ਨੂੰ ਪ੍ਰਯੋਗਾਂ ਦੁਆਰਾ ਪਤਾ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।

ਮਾਨ ਨੂੰ ਪ੍ਰਯੋਗਿਕ ਆਧਾਰ ਤੇ ਪਤਾ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੇ ਪ੍ਰਯੋਗ ਨੂੰ ਸਭ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਅੰਗ੍ਰੇਜ਼ ਵਿਗਿਆਨੀ ਹੈਨਰੀ ਕੈਵੇਂਡਿਸ਼ (Henry cavendish) ਨੇ 1798 ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਸੀ ਉਹਨਾਂ ਦੁਆਰਾ ਵਰਤੇ ਗਏ ਉਪਕਰਨ ਦੀ ਵਿਵਸਥਾ ਚਿੱਤਰ 8.6 ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਈ ਗਈ ਹੈ।

ਛੜ AB ਦੇ ਦੋਵੇਂ ਸਿਰਿਆਂ ਤੇ ਛੋਟੇ ਸੀਸੇ (lead) ਦੇ ਗੋਲੇ ਜੋੜੇ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। ਇਸ ਛੜ ਨੂੰ ਇੱਕ ਪਤਲੇ ਤਾਰ ਨਾਲ ਕਿਸੇ ਦ੍ਰਿੜ (rigid) ਟੇਕ (ਸਹਾਰੇ) ਨਾਲ ਲਟਕਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਸੀਸੇ ਦੇ ਦੋ ਵਿਸ਼ਾਲ ਗੋਲਿਆਂ ਨੂੰ ਚਿੱਤਰ ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਏ ਅਨੁਸਾਰ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਨੇੜੇ ਪਰ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਲਗਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਵੱਡੇ ਗੋਲੇ ਚਿੱਤਰ ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਏ ਅਨੁਸਾਰ ਆਪਣੇ ਨੇੜੇ ਦੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲਿਆਂ ਨੂੰ ਬਰਾਬਰ ਅਤੇ ਉਲਟ ਬਲਾਂ ਨਾਲ ਆਕਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਛੜ ਤੇ ਕੋਈ ਨੇਟ ਬਲ ਨਹੀਂ ਲੱਗਦਾ, ਪਰ ਸਿਰਫ਼ ਇੱਕ ਟਾਰਕ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜੋ ਸਾਫ਼ ਤੌਰ ਤੇ ਛੜ ਦੀ ਲੰਬਾਈ ਦਾ F-ਗੁਣਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਜਦੋਂ ਕਿ ਇੱਥੇ F ਵਿਸ਼ਾਲ ਗੋਲੇ ਅਤੇ ਉਸਦੇ ਨੇੜੇ ਵਾਲੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਵਿੱਚ ਆਪਸੀ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਹੈ। ਇਸ ਟਾਰਕ ਦੇ ਕਾਰਨ ਲਟਕਾਉਣ ਵਾਲੀ ਤਾਰ ਨੂੰ ਵੱਟ ਚੜ੍ਹ (twist) ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ ਤੱਕ ਕਿ ਪੁਨਰ ਸਥਾਪਨ ਟਾਰਕ (Restoring torque), ਗੁਰੂਤਵੀ ਟਾਰਕ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ। ਜੇ ਲਟਕਦੀ ਤਾਰ ਨੂੰ θ ਕੋਣ (angle of twist) ਤੱਕ ਵੱਟ ਚੜ੍ਹਿਆ ਹੈ, ਤਾਂ ਪੁਨਰ ਸਥਾਪਨ (restoring) ਟਾਰਕ, θ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਅਤੇ $\tau\theta$ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੋਵੇਗਾ। ਜਿੱਥੇ τ ਪੁਨਰ ਸਥਾਪਨ ਬਲ ਯੁਗਮ ਪ੍ਰਤੀ ਇਕਾਈ ਟਵਿਸਟ ਕੋਣ (restoring couple per unit angle of twist) ਹੈ। τ ਨੂੰ ਅਲੱਗ ਪ੍ਰਯੋਗ ਦੁਆਰਾ ਮਾਪਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ, ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਪਹਿਲਾਂ ਤੋਂ ਹੀ ਗਿਆਤ ਟਾਰਕ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ ਅਤੇ ਟਵਿਸਟ ਕੋਣ ਮਾਪ ਕੇ। ਗੋਲ ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਨੀ ਬਲ ਉਨ੍ਹਾਂ ਹੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਿੰਨਾਂ ਕਿ ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਪੁੰਜਾਂ ਨੂੰ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਮੰਨ ਕੇ ਗਿਆਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਜੇ ਵਿਸ਼ਾਲ ਗੋਲੇ ਅਤੇ ਉਸਦੇ ਨੇੜੇ ਦੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਦੀ ਦੂਰੀ d ਹੈ, M ਅਤੇ m ਇਹਨਾਂ ਗੋਲਿਆਂ ਦੇ ਪੁੰਜ ਹਨ, ਤਾਂ ਵੱਡੇ ਗੋਲੇ ਅਤੇ ਉਸਦੇ ਨੇੜਲੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਹੈ —

$$F = G\frac{Mm}{d^2} \tag{8.6}$$

ਜੇ ਛੜ AB ਦੀ ਲੰਬਾਈ L ਹੈ, ਤਾਂ F ਦੇ ਕਾਰਨ ਪੈਦਾ ਟਾਰਕ F ਅਤੇ L ਦਾ ਗੁਣਨਫਲ ਹੋਵੇਗਾ। ਸੰਤੁਲਨ ਦੇ ਸਮੇਂ ਇਹ ਟਾਰਕ ਪੁਨਰਸਥਾਪਨ ਟਾਰਕ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੋਵੇਗਾ। ਇਸ ਲਈ

$$G\frac{Mm}{d^2}L = \tau\ \theta \tag{8.7}$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ θ ਦਾ ਪ੍ਰੇਖਣ ਕਰਕੇ ਇਸ ਸਮੀਕਰਨ ਦੀ ਸਹਾਇਤਾ ਨਾਲ G ਦਾ ਮਾਨ ਪਰੀਕਲਤ (calculate) ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।

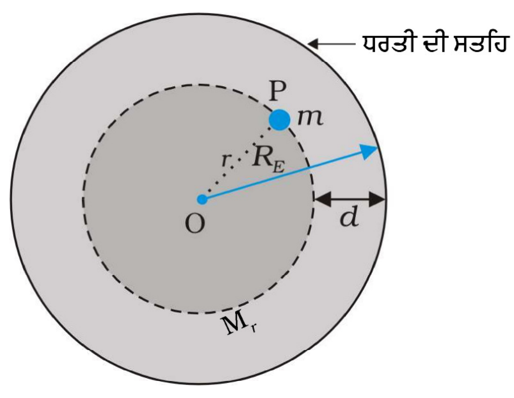
ਕੈਵੇਂਡਿਸ਼ ਪ੍ਰਯੋਗ ਤੋਂ ਬਾਅਦ G ਦੇ ਮਾਪਣ ਵਿੱਚ ਕਈ ਸੁਧਾਰ ਹੋਏ ਅਤੇ ਹੁਣ G ਦਾ ਮੰਨ ਲਿਆ ਗਿਆ ਮੁੱਲ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਹੈ–

$$\mathbf{G = 6.67\times10^{-11}\ N\ m^2/kg^2} \tag{8.8}$$

8.5 ਧਰਤੀ ਦਾ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ (ACCELERATION DUE TO GRAVITY OF THE EARTH)

ਧਰਤੀ ਗੋਲ ਹੋਣ ਕਾਰਨ ਇਸ ਨੂੰ ਬਹੁਤ ਸਾਰੇ ਗੋਲ ਖੋਲਾਂ (ਜਿਹਨਾਂ ਦਾ ਕੇਂਦਰ ਬਿੰਦੂ ਇੱਕੋ ਹੋਵੇ concentric spherical shells) ਤੋਂ ਮਿਲ ਕੇ ਬਣੀ ਹੋਈ ਮੰਨਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਸਭ ਤੋਂ ਛੋਟਾ ਖੋਲ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਅਤੇ ਸਭ ਤੋਂ ਵੱਡਾ ਖੋਲ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹ ਤੇ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਬਾਹਰ ਦਾ ਕੋਈ ਵੀ ਬਿੰਦੂ ਸਪੱਸ਼ਟ ਰੂਪ ਨਾਲ ਇਹਨਾਂ ਸਾਰੇ ਖੋਲਾਂ ਦੇ ਬਾਹਰ ਹੋਵੇਗਾ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਾਰੇ ਖੋਲ ਧਰਤੀ ਦੇ ਬਾਹਰ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਣੀ ਬਲ ਲਗਾਉਣਗੇ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਇਹਨਾਂ ਸਾਰੇ ਖੋਲਾਂ ਦਾ ਪੁੰਜ ਇਹਨਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰ (ਜੋ ਕਿ ਸਾਰਿਆਂ ਲਈ ਇੱਕੋ ਬਿੰਦੂ ਹੈ) ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਹੋਇਆ ਹੋਵੇ ਜਿਵੇਂ ਸੈਕਸ਼ਨ 8.3 ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਪੜ੍ਹ ਚੁੱਕੇ ਹਾਂ। ਸਾਰੇ ਖੋਲਾਂ ਦੇ ਇਕੱਠ ਦਾ ਕੁੱਲ ਪੁੰਜ ਧਰਤੀ ਦਾ ਹੀ ਪੁੰਜ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਧਰਤੀ ਦੇ ਬਾਹਰ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ, ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਨੂੰ ਇਹੀ ਮੰਨ ਕੇ ਪਤਾ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦਾ ਸਮੂਚਾ ਪੁੰਜ ਉਸਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਹੈ।

ਧਰਤੀ ਦੇ ਅੰਦਰ ਮੌਜੂਦ ਬਿੰਦੂਆਂ ਲਈ ਸਥਿਤੀ ਵੱਖਰੀ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ ਚਿੱਤਰ 8.7 ਵਿੱਚ ਸਪੱਸ਼ਟ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 8.7 M_E ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ ਅਤੇ R_E ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਹੈ, ਧਰਤੀ ਦੇ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਹੇਠਾਂ d ਡੂੰਘਾਈ ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਖਾਨ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਪੁੰਜ m ਰੱਖਿਆ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਨੂੰ ਸਮਮਿਤ ਗੋਲਾ ਮੰਨਦੇ ਹਾਂ।

ਪਹਿਲਾਂ ਦੀ ਹੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਹੁਣ ਫਿਰ ਧਰਤੀ ਨੂੰ ਕਈ ਖੋਲਾਂ ਤੋਂ ਮਿਲ ਕੇ ਬਣਿਆ ਮੰਨ ਲਉ ਜਿਹਨਾਂ ਦਾ ਕੇਂਦਰ ਇੱਕੋ ਹੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ ਵਿਚਾਰ ਕਰੋ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ r ਦੂਰੀ ਤੇ ਕੋਈ ਪੁੰਜ m ਰਖਿਆ ਗਿਆ ਹੈ।

ਬਿੰਦੂ P, r ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਬਾਹਰ ਹੈ। ਉਹਨਾਂ ਸਾਰੇ ਖੋਲਾਂ ਦੇ ਲਈ ਜਿਹਨਾਂ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ r ਤੋਂ ਵਧ ਹੈ, ਬਿੰਦੂ P ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਅੰਦਰ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਪਿਛਲੇ ਭਾਗ ਵਿੱਚ ਦੱਸੇ ਗਏ ਨਤੀਜੇ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਇਹ ਸਾਰੇ ਖੋਲ P ਤੇ ਰੱਖੇ ਪੁੰਜਾਂ ਤੇ ਕੋਈ ਗਰੁਤਾਕਰਸ਼ਨੀ ਬਲ ਨਹੀਂ ਲਗਾਉਂਦੇ। ਅਰਧ ਵਿਆਸ $\leq r$ ਵਾਲੇ ਖੋਲ ਮਿਲ ਕੇ r ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦਾ ਗੋਲਾ ਬਣਾਉਂਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਬਿੰਦੂ P ਇਸ ਗੋਲੇ ਦੀ ਸਤਹ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ r ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਵਾਲਾ ਇਹ ਛੋਟਾ ਗੋਲਾ P ਤੇ ਸਥਿਤ ਪੁੰਜ m ਤੇ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਲਗਾਉਂਦਾ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਇਸਦਾ ਸਾਰੇ ਦਾ ਸਾਰਾ ਪੁੰਜ M_r ਇਸਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਹੋਵੇ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ P ਤੇ ਸਥਿਤ ਪੁੰਜ m ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ ਦਾ ਪਰਿਮਾਣ

$$F = \frac{Gm\,(M_r)}{r^2} \tag{8.9}$$

ਅਸੀਂ ਇਹ ਮੰਨਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਸਾਰੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਘਣਤਾ (density) ਇੱਕ ਸਮਾਨ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਪੁੰਜ $M_E = \frac{4\pi}{3} R_E^3$ ਕੀ ਹੈ। ਜਿੱਥੇ R_E ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਅਤੇ ρ ਇਸਦੀ ਘਣਤਾ ਹੈ। ਇਸਦੇ ਉਲਟ r ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੇ ਗੋਲੇ ਦਾ ਪੁੰਜ $\frac{4\pi}{3}\rho r^3$ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ

$$F = Gm\left(\frac{4\rho}{3}\pi\right)\frac{r^3}{r^2} = Gm\left(\frac{M_E}{R_E{}^3}\right)\frac{r^3}{r^2}$$

$$= \frac{G\,m\,M_E}{R_E^3}\,r \tag{8.10}$$

ਜੇ ਪੁੰਜ m ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹੈ ਤਾਂ $r = R_E$ ਅਤੇ ਸਮੀਕਰਨ (8.10) ਤੋਂ ਇਸ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ

$$F = G\,\frac{M_E m}{R_E^2} \tag{8.11}$$

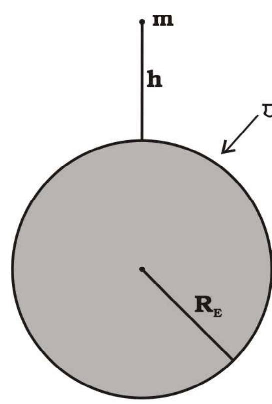
ਜਿਥੇ M_E ਅਤੇ R_E ਕ੍ਰਮਵਾਰ ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ ਅਤੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਹੈ। ਪੁੰਜ m ਦੁਆਰਾ ਅਨੁਭਵ ਕੀਤਾ ਜਾਣ ਵਾਲਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਜਿਸ ਨੂੰ ਅਕਸਰ ਪ੍ਰਤੀਕ g ਦੁਆਰਾ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ, ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦੁਆਰਾ ਬਲ F ਨਾਲ ਸੰਬੰਧ F = mg ਦੁਆਰਾ ਸੰਬੰਧਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ

$$g = \frac{F}{m} = \frac{GM_E}{R_E^2} \tag{8.12}$$

g ਨੂੰ ਸਹਿਜੇ ਹੀ ਮਾਪਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। R_E ਇੱਕ ਗਿਆਤ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ। ਕੈਵੇਂਡਿਸ਼ ਪ੍ਰਯੋਗ ਦੁਆਰਾ ਜਾਂ ਦੂਸਰੀ ਵਿਧੀ ਦੁਆਰਾ ਪ੍ਰਾਪਤ G ਦਾ ਮਾਪ, g ਅਤੇ R_E ਦੀ ਜਾਣਕਾਰੀ ਨੂੰ ਸ਼ਾਮਲ ਕਰਕੇ M_E ਦਾ ਮਾਨ ਸਮੀਕਰਨ (8.12) ਦੀ ਸਹਾਇਤਾ ਨਾਲ ਪਤਾ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਇਹੀ ਕਾਰਨ ਹੈ ਕਿ ਕੈਵੇਂਡਿਸ਼ ਦੇ ਬਾਰੇ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਪ੍ਰਚਲਿਤ ਕਥਨ ਇਹ ਹੈ : "ਕੈਵੇਂਡਿਸ਼ ਨੇ ਧਰਤੀ ਨੂੰ ਤੋਲਿਆ"।

8.6 ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਅੰਦਰ ਵੱਲ ਅਤੇ ਉਚਾਈ ਵੱਲ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ (ACCELERATION DUE TO GRAVITY BELOW AND ABOVE THE SURFACE OF EARTH)

ਚਿੱਤਰ ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਏ ਅਨੁਸਾਰ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਉਚਾਈ h ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰੋ (ਚਿੱਤਰ 8.8 (a)) ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਨੂੰ R_E ਨਾਲ



(a)

ਚਿੱਤਰ 8.8(a) ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਕਿਸੇ ਉਚਾਈ h ਤੇ g ਦਾ ਮੁੱਲ

ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਕਿਉਂਕਿ ਇਹ ਬਿੰਦੂ ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਹੈ, ਇਸਦੀ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਦੂਰੀ ($R_E + h$) ਹੈ। ਜੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m ਤੇ ਬਲ ਦੇ ਪਰਿਮਾਣ ਨੂੰ F (h) ਦੁਆਰਾ ਪ੍ਰਗਟਾਇਆ ਜਾਵੇ ਤਾਂ ਸਮੀਕਰਨ 8.5 ਤੋਂ ਸਾਨੂੰ ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਸੰਬੰਧ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$F(h) = \frac{GM_E m}{(R_E + h)^2} \tag{8.13}$$

ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਦੁਆਰਾ ਅਨੁਭਵ ਕੀਤਾ ਜਾਣ ਵਾਲਾ ਪ੍ਰਵੇਗ $F(h)/m \equiv g(h)$ ਅਤੇ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$g(h) = \frac{F(h)}{m} = \frac{GM_E}{(R_E + h)^2}\,. \tag{8.14}$$

ਸਪਸ਼ਟ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਇਹ ਮਾਨ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ g ਦੇ ਮਾਨ ਤੋਂ ਘੱਟ ਹੈ $g = \frac{GM_E}{R_E^2}$. ਜਦੋਂ ਕਿ $h << R_E$, ਅਸੀਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.14) ਦੇ ਸੱਜੇ ਪਾਸੇ ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਵੀ ਲਿਖ ਸਕਦੇ ਹਾਂ

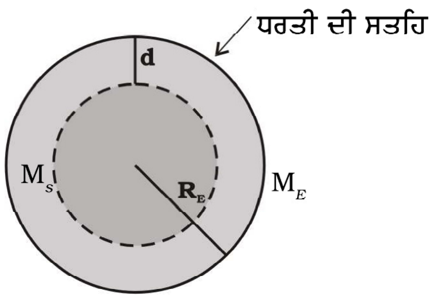
$$g(h) = \frac{GM_E}{R_E^2(1+h/R_E)^2} = g\left(1+h/R_E\right)^{-2}$$

$\frac{h}{R_E} << 1$ ਦੇ ਲਈ ਦੋ ਪਦੀ ਵਿਅੰਜਕ (Binomial expression) ਦਾ ਉਪਯੋਗ ਕਰਨ ਤੇ

$$g(h) \cong g\left(1-\frac{2h}{R_E}\right) \qquad (8.15)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.15) ਤੋਂ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਘੱਟ ਉਚਾਈ h ਦੇ ਲਈ g ਦਾ ਮਾਨ ਗੁਣਾਂਕ $(1-2h/R_E)$. ਦੁਆਰਾ ਘਟਦਾ ਹੈ।

ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹ ਤੋਂ ਅੰਦਰ ਡੂੰਘਾਈ d ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ m ਦੇ ਵਿਸ਼ੇ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਅਜਿਹਾ ਹੋਣ ਤੇ ਚਿੱਤਰ 8.8 b ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਏ ਅਨੁਸਾਰ ਇਸ ਪੁੰਜ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਦੂਰੀ $(R_E - d)$ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਨੂੰ $(R_E - d)$ ਵਾਲੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਅਤੇ d ਮੋਟਾਈ ਦੇ ਇੱਕ ਗੋਲ ਖੋਲ ਤੋਂ ਮਿਲ ਕੇ ਬਣੀ ਮੰਨ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਤਾਂ ਪੁੰਜ m ਤੇ d ਮੋਟਾਈ ਦੇ ਬਾਹਰੀ ਖੋਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਲਗਾਇਆ ਬਲ ਪਿਛਲੇ ਸੈਕਸ਼ਨ ਵਿੱਚ ਵਰਣਿਤ ਨਤੀਜੇ ਦੇ ਕਾਰਨ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇਗਾ। ਜਿਥੋਂ



(b)

ਚਿੱਤਰ 8.8(b) ਕਿਸੇ ਡੂੰਘਾਈ d ਤੇ g ਦਾ ਮੁੱਲ। ਇਸ ਕੇਸ ਵਿੱਚ ਸਿਰਫ਼ (R_E-d) ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦਾ ਛੋਟਾ ਗੋਲਾ ਹੀ g ਦੇ ਲਈ ਯੋਗਦਾਨ ਪਾਉਂਦਾ ਹੈ।

ਤਕ $(R_E - d)$ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਕਾਰਨ ਲੱਗੇ ਬਲ ਦਾ ਸੰਬੰਧ ਹੈ ਤਾਂ ਪਿਛਲੇ ਸੈਕਸ਼ਨ ਵਿੱਚ ਵਰਣਿਤ ਪਰਿਣਾਮ ਅਨੁਸਾਰ, ਇਸ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਕਾਰਨ ਬਲ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਲਗੇਗਾ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦਾ ਸਾਰਾ ਪੁੰਜ ਉਸਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਹੋਵੇ। ਜੇ ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਦਾ ਪੁੰਜ M_s ਹੈ, ਤਾਂ

$$M_s / M_E = (R_E - d)^3 / R_E^{\,3} \qquad \cdots(8.16)$$

ਕਿਉਂਕਿ, ਕਿਸੇ ਗੋਲੇ ਦਾ ਪੁੰਜ ਉਸਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੇ ਘਣ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੈ।

ਇਸ ਲਈ ਬਿੰਦੂ ਪੁੰਜ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ

$$F(d) = G\ M_s\ m\ /\ (R_E - d)^2 \qquad (8.17)$$

ਉਪਰੋ M_S ਦਾ ਮਾਨ ਭਰਨ ਤੇ, ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ

$$F(d) = G\ M_E\, m\,(R_E - d)\ /\ R_E^3 \qquad (8.18)$$

ਅਤੇ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਡੂੰਘਾਈ d ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ

$$g(d) = \frac{F(d)}{m}$$

ਅਰਥਾਤ

$$g(d) = \frac{F(d)}{m} = \frac{GM_E}{R_E^3}\ (R_E - d)$$

$$= g\frac{R_E - d}{R_E} = g(1 - d/R_E) \qquad (8.19)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਜਿਵੇਂ-ਜਿਵੇਂ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅੰਦਰ ਵਧੇਰੇ ਡੂੰਘਾਈ ਤੱਕ ਜਾਂਦੇ ਹਾਂ, ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਦਾ ਮਾਨ ਗੁਣਾਂਕ $(1-d/R_E)$. ਦੁਆਰਾ ਘਟਦਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਤ ਇਹ ਇੱਕ ਹੈਰਾਨੀਜਨਕ ਤੱਥ ਹੈ ਕਿ ਸਤਹ ਤੇ ਇਸਦਾ ਮਾਨ ਅਧਿਕਤਮ ਹੈ ਅਤੇ ਚਾਹੇ ਅਸੀਂ ਸਤਹ ਤੋਂ ਉਚਾਈ ਜਾਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅੰਦਰ ਡੂੰਘਾਈ ਤੇ ਇਸਦਾ ਮਾਨ ਸਦਾ ਹੀ ਘੱਟਦਾ ਹੈ।

8.7 ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ (GRAVITATIONAL POTENTIAL ENERGY)

ਪਹਿਲਾਂ ਅਸੀਂ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਧਾਰਨਾ ਦੀ ਚਰਚਾ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਦੀ ਦਿੱਤੀ ਹੋਈ ਸਥਿਤੀ ਤੇ ਉਸ ਵਿੱਚ ਮੌਜੂਦ (store) ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਕੀਤੀ ਸੀ। ਜੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਉਸ ਤੇ ਲੱਗੇ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਉਸ ਕਣ ਦੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ਲੱਗੇ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਉਸ ਕਣ ਤੇ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦੇ ਪਰਿਮਾਣ ਦੇ ਠੀਕ-ਠੀਕ ਬਰਾਬਰ ਹੋਵੇਗਾ। ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਪਹਿਲਾਂ ਹੀ ਚਰਚਾ ਕਰ ਚੁਕੇ ਹਾਂ ਜਿਹੜੇ ਬਲਾਂ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਤੈਅ ਕੀਤੇ ਗਏ ਰਸਤੇ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ, ਉਹ ਬਲ **ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ** ਹੁੰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸਿਰਫ਼ ਅਜਿਹੇ ਬਲਾਂ ਦੇ ਲਈ ਹੀ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਕੋਈ ਸਾਰਥਕਤਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਇੱਕ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ ਹੈ ਅਤੇ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਵਿੱਚ ਇਸ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਪੈਦਾ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ, ਜਿਸ ਨੂੰ ਗੁਰੂਤਵੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ, ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਪਹਿਲਾਂ ਧਰਤੀ ਦੀ

ਸਤਹਿ ਦੇ ਨੇੜੇ ਦੇ ਉਹਨਾਂ ਬਿੰਦੂਆਂ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰੋ ਜਿਹਨਾਂ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹ ਤੋਂ ਦੂਰੀ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਬਹੁਤ ਘਟ ਹੈ। ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਅਸੀਂ ਦੇਖ ਚੁੱਕੇ ਹਾਂ ਅਜਿਹੀਆਂ ਸਥਿਤੀਆਂ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਵਿਵਹਾਰਿਕ ਦ੍ਰਿਸ਼ਟੀ ਨਾਲ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ mg ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਜੇ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ h_1 ਉਚਾਈ ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਅਤੇ ਇਸੇ ਬਿੰਦੂ ਦੇ ਠੀਕ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਉੱਪਰ h_2 ਉਚਾਈ ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਹੋਰ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰੀਏ ਤਾਂ m ਪੁੰਜ ਦੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਨੂੰ ਪਹਿਲੀ ਸਥਿਤੀ ਤੋਂ ਦੂਸਰੀ ਸਥਿਤੀ ਤੱਕ ਉੱਪਰ ਚੁੱਕਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ, ਜਿਸ ਨੂੰ W_{12} ਦੁਆਰਾ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ, ਹੋਵੇਗਾ।

$$W_{12} = \text{ਬਲ} \times \text{ਵਿਸਥਾਪਨ}$$
$$= mg\,(h_2 - h_1) \qquad (8.20)$$

ਜੇ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ h ਉਚਾਈ ਦੇ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਨਾਲ ਕੋਈ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ $W(h)$ ਨੂੰ ਜੋੜੀਏ ਜੋ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਹੈ ਕਿ

$$W(h) = mgh + W_o \qquad (8.21)$$

(ਜਿੱਥੇ W_o = ਸਥਿਰ ਅੰਕ)

ਤਾਂ ਇਹ ਸਪਸ਼ਟ ਹੈ ਕਿ

$$W_{12} = W(h_2) - W(h_1) \qquad (8.22)$$

ਕਣ ਨੂੰ ਸਥਾਨਾਂਤਰਿਤ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਠੀਕ ਇਸ ਕਣ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਅਤੇ ਆਰੰਭਿਕ ਸਥਿਤੀਆਂ ਦੀਆਂ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦੇ ਅੰਤਰ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ। ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ ਸਮੀਕਰਨ (8.22) ਵਿੱਚ W_o ਨਿਰਸਤ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਸਮੀਕਰਨ (8.21) ਵਿੱਚ ($h = 0$) ਰਖਣ ਤੇ W ($h = 0$) = W_o ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। $h = 0$ ਦਾ ਅਰਥ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਦੋਵੇਂ ਬਿੰਦੂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹਨ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ W_o ਕਣ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਹੋਈ।

ਜੇ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਆਪਣੀ ਮਰਜ਼ੀ ਦੀਆਂ ਦੂਰੀਆਂ ਦੇ ਬਿੰਦੂਆਂ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰੀਏ ਤਾਂ ਉਪਰੋਕਤ ਪਰਿਣਾਮ ਪ੍ਰਮਾਣਿਕ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੇ ਕਿਉਂਕਿ ਤਦ ਇਹ ਮਨੌਤੀ ਕਿ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ mg ਅਪਰਵਰਤਿਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ, ਮੰਨਣਯੋਗ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਪਰ, ਆਪਣੀ ਹੁਣ ਤੱਕ ਦੀ ਚਰਚਾ ਦੇ ਆਧਾਰ ਤੇ ਅਸੀਂ ਜਾਣਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਬਾਹਰ ਦੇ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਕਣ ਤੇ ਲੱਗੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਨਿਰਦੇਸ਼ਿਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸ ਬਲ ਦਾ ਪਰਿਮਾਣ ਹੈ,

$$F = \frac{G M_E m}{r^2} \qquad (8.23)$$

ਜਿੱਥੇ M_E = ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ, m = ਕਣ ਦਾ ਪੁੰਜ ਅਤੇ r ਇਸ ਕਣ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਦੂਰੀ ਹੈ। ਜੇ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਕਣ ਨੂੰ $r = r_1$ ਤੋਂ $r = r_2$ (ਜਦੋਂਕਿ ($r_2 > r_1$)) ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਪਥ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਉੱਪਰ ਚੁੱਕਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਪਰਿਕਲਣ ਕਰੀਏ ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.20) ਦੇ ਸਥਾਨ ਤੇ ਇਹ ਸੰਬੰਧ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਾਂਗੇ।

$$W_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{G M_E m}{r^2} \mathrm{d}r$$
$$= -G M_E m \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) \qquad (8.24)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.21) ਦੀ ਬਜਾਏ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਦੂਰੀ r ਤੇ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ $W(r)$ ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸੰਬੰਧਤ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ —

$$W(r) = -\frac{G M_E m}{r} + W_1, \qquad (8.25)$$

ਜੋ ਕਿ $r > R$ ਦੇ ਲਈ ਮੰਨਣਯੋਗ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਇੱਕ ਵਾਰ ਫਿਰ $W_{12} = W(r_2) - W(r_1)$ ਹੈ। ਪਿਛਲੇ ਸਮੀਕਰਨ ਵਿੱਚ $r = \infty$ ਰਖਣ ਤੇ ਸਾਨੂੰ W ($r = \infty$) = W_1 ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ W_1 ਅਨੰਤ ਤੇ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਹੋਈ। ਸਾਨੂੰ ਇਹ ਧਿਆਨ ਦੇਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ ਕਿ ਸਮੀਕਰਨਾਂ (8.22) ਅਤੇ (8.24) ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਸਿਰਫ਼ ਦੋ ਬਿੰਦੂਆਂ ਦੇ ਵਿੱਚ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਅੰਤਰ ਦੀ ਹੀ ਕੋਈ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਸਾਰਥਕਤਾ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਚਲਿਤ ਕਸੌਟੀ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ W_1 ਨੂੰ ਜ਼ੀਰੋ ਮੰਨ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ ਜਿਸਦੇ ਕਾਰਨ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਉਸ ਕਣ ਨੂੰ ਅਨੰਤ ਤੋਂ ਉਸ ਬਿੰਦੂ ਤੱਕ ਲਿਆਉਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤੇ ਜਾਣ ਵਾਲੇ ਕਾਰਜ ਦੇ ਠੀਕ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਅਸੀਂ, ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਪਰਿਕਲਣ ਉਸ ਕਣ ਤੇ ਲਗੇ ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲਾਂ ਦੇ ਕਾਰਨ, ਜੋ ਕਿ ਕਣ ਦੇ ਪੁੰਜ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਕੀਤਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ ਦੀ ਪਰਿਭਾਸ਼ਾ, "ਉਸ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦੇ ਇਕਾਈ ਪੁੰਜ ਦੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਕੀਤੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

ਪਹਿਲਾਂ ਕੀਤੀ ਵਿਚਾਰ ਚਰਚਾ ਦੇ ਆਧਾਰ ਤੇ, ਅਸੀਂ ਜਾਣਦੇ ਹਾਂ ਕਿ m_1 ਅਤੇ m_2 ਪੁੰਜ ਦੇ ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਤੋਂ r ਦੂਰੀ ਤੇ ਰੱਖੇ ਦੋ ਕਣਾਂ ਦੀ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਹੈ

$$V = -\frac{G m_1 m_2}{r}$$

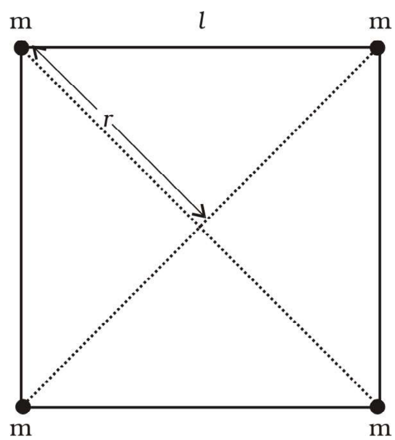
(ਜੇ ਅਸੀਂ $V = 0$ ਲਈਏ ਜਦੋਂ $r \to \infty$)

ਇਹ ਵੀ ਧਿਆਨ ਦਿੱਤਾ ਜਾਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ ਕਿ ਕਣਾਂ ਦੇ ਕਿਸੇ ਅਲਗ-ਅਲਗ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁਲ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ, ਘਟਕ ਕਣਾਂ ਦੇ ਸਾਰੇ ਸੰਭਾਵਿਤ ਜੋੜਿਆਂ ਦੀਆਂ ਊਰਜਾਵਾਂ (ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨ ਦੁਆਰਾ ਪਰਿਕਲਿਤ) ਦੇ ਜੋੜ ਦੇ

ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇਹ ਸੁਪਰਪੋਜੀਸ਼ਨ ਸਿਧਾਂਤ (superposition principle) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਦਾ ਇੱਕ ਉਦਾਹਰਨ ਹੈ।

▶**ਉਦਾਹਰਨ 8.3** l ਭੁਜਾ ਦੇ ਕਿਸੇ ਵਰਗ ਦੇ ਸਿਖਰਾਂ ਤੇ ਸਥਿਤ ਚਾਰ ਕਣਾਂ ਦੇ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਪਤਾ ਕਰੋ। ਵਰਗ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ ਵੀ ਪਤਾ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਮੰਨ ਲਉ ਹਰੇਕ ਕਣ ਦਾ ਪੁੰਜ m ਹੈ, ਅਤੇ ਵਰਗ ਦੀ ਭੁਜਾ l ਹੈ। ਸਾਡੇ ਕੋਲ l ਦੂਰੀ ਵਾਲੇ 4 ਪੁੰਜ ਜੋੜੇ ਅਤੇ $\sqrt{2}\,l$ ਦੂਰੀ ਵਾਲੇ 2 ਪੁੰਜ ਜੋੜੇ ਹਨ। ਇਸ ਲਈ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ



ਚਿੱਤਰ 8.9

$$W(r) = -4\frac{G\,m^2}{l} - 2\frac{G\,m^2}{\sqrt{2}\,l}$$

$$= -\frac{2\,G\,m^2}{l}\left(2+\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = -5.41\frac{G\,m^2}{l}$$

ਵਰਗ ਦੇ ਕੇਂਦਰ $\left(r=\sqrt{2}\,l/2\right)$ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ

$$U(r) = 4x - \frac{2\,G\,m}{\sqrt{2}l}$$

$$U(\mathrm{r}) = -4\sqrt{2}\,\frac{G\,m}{l}$$

8.8 ਪਲਾਇਨ ਚਾਲ (ESCAPE SPEED)

ਜੇ ਅਸੀਂ ਆਪਣੇ ਹੱਥਾਂ ਨਾਲ ਕਿਸੇ ਪੱਥਰ ਨੂੰ ਉੱਪਰ ਸੁਟਦੇ ਹਾਂ, ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਇਹ ਦੇਖਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਇਹ ਫਿਰ ਧਰਤੀ ਤੇ ਡਿਗ ਪੈਂਦਾ ਹੈ। ਬੇਸ਼ਕ ਮਸ਼ੀਨਾਂ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਵੱਧ ਤੋਂ ਵੱਧ ਤੇਜੀ ਅਤੇ ਅਰੰਭਿਕ ਵੇਗਾਂ ਨਾਲ ਸ਼ੂਟ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ ਜਿਸ ਕਾਰਨ ਇਹ ਪਿੰਡ ਵੱਧ ਤੋਂ ਵੱਧ ਉੱਚਾਈ ਤੱਕ ਪੁੱਜ ਜਾਂਦੇ ਹਨ। ਤਦ ਸੁਭਾਵਿਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਾਡੇ ਦਿਮਾਗ਼ ਵਿੱਚ ਇਹ ਵਿਚਾਰ ਪੈਦਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ "ਕੀ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਇਨੇ ਜ਼ਿਆਦਾ ਅਰੰਭਿਕ ਚਾਲ ਨਾਲ ਉੱਪਰ ਸੁੱਟ ਸਕਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਇਹ ਧਰਤੀ ਤੇ ਵਾਪਿਸ ਹੀ ਨਾ ਡਿੱਗੇ ?

ਇਸ ਪ੍ਰਸ਼ਨ ਦਾ ਉੱਤਰ ਦੇਣ ਵਿੱਚ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਸਾਡੀ ਸਹਾਇਤਾ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਮੰਨ ਲਉ ਸੁਟਿਆ ਗਿਆ ਪਿੰਡ ਅਨੰਤ ਤੱਕ ਪੁੱਜਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਉੱਥੇ ਉਸਦੀ ਚਾਲ V_f ਹੈ। ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਸਥਿਤੀਜ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਜੋੜ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਪਹਿਲਾਂ ਦੀ ਹੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਪਿੰਡ ਦੀ ਅਨੰਤ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਨੂੰ W_1 ਨਾਲ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਦੀ ਅਨੰਤ ਤੇ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ

$$E\,(\infty) = W_1 + \frac{mV_f^2}{2} \qquad (8.26)$$

ਜੇ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਧਰਤੀ (R_E = ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ) ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ($h+R_E$) ਉਚਾਈ ਤੇ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੋਂ ਅਰੰਭ ਵਿੱਚ ਚਾਲ V_i ਨਾਲ ਸੁਟਿਆ ਗਿਆ ਸੀ, ਤਾਂ ਇਸ ਪਿੰਡ ਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਊਰਜਾ ਸੀ।

$$E\,(h+R_E) = \frac{1}{2}mV_i^2 - \frac{GmM_E}{(h+R_E)} + W_1 \qquad (8.27)$$

ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਸਮੀਕਰਨ (8.26) ਅਤੇ (8.27) ਬਰਾਬਰ ਹੋਣੇ ਚਾਹੀਦੇ ਹਨ। ਇਸਲਈ

$$\frac{mV_i^2}{2} - \frac{GmM_E}{(h+R_E)} = \frac{mV_f^2}{2} \qquad (8.28)$$

ਸਮੀਕਰਨ (8.28) ਦਾ ਖੱਬਾ ਪਾਸਾ ਇੱਕ ਧਨਾਤਮਕ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਮੁਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ ਇਸਲਈ ਸੱਜੇ ਪਾਸੇ ਵੀ ਅਜਿਹਾ ਹੋਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਕੋਈ ਪਿੰਡ ਅਨੰਤ ਤਕ ਪੁੱਜ ਸਕਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ V_i ਇੰਨਾਂ ਹੋਵੇ ਕਿ

$$\frac{mV_i^2}{2} - \frac{GmM_E}{(h+R_E)} \geq 0 \qquad (8.29)$$

V_i ਦਾ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਮੁੱਲ ਉਸ ਸਥਿਤੀ ਦੇ ਸੰਗਤ ਹੈ ਜਦੋਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.29) ਖੱਬਾ ਪਾਸਾ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਅਨੰਤ ਤੱਕ ਪੁੱਜਣ ਦੇ ਲਈ (ਅਰਥਾਤ ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਪਲਾਇਨ ਲਈ) ਜ਼ਰੂਰੀ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਚਾਲ ਇਸ ਸੰਬੰਧ ਦੇ ਸੰਗਤ ਹੈ

$$\frac{1}{2}m\left(V_i^2\right)_{\min} = \frac{GmM_E}{h+R_E} \qquad (8.30)$$

ਜੇ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ h = 0 ਅਤੇ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

$$\left(V_i\right)_{\min} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}} \qquad (8.31)$$

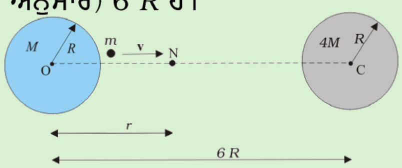
ਸੰਬੰਧ $g = GM_E / R_E^2$ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਨ ਤੇ ਅਸੀਂ ਨਿਮਨ ਮਾਨ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ

$$(V_i)_{\min} = \sqrt{2gR_E} \qquad (8.32)$$

ਸਮੀਕਰਨ (8.32) ਵਿੱਚ g ਅਤੇ R_E ਦੇ ਅੰਕਿਕ ਮਾਨ (Numerical values) ਰੱਖਣ ਤੇ ਸਾਨੂੰ $(V_i)_{\min} \approx 11.2$ km/s ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ **ਪਲਾਇਨ** ਚਾਲ ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਕਦੇ-ਕਦੇ ਲਾਪਰਵਾਹੀ ਵਿੱਚ ਇਸਨੂੰ ਅਸੀਂ ਪਲਾਇਨ ਵੇਗ ਵੀ ਕਹਿ ਦਿੰਦੇ ਹਾਂ।

ਸਮੀਕਰਨ (8.32) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਠੀਕ-ਠਾਕ ਢੰਗ ਨਾਲ ਚੰਨ ਤੋਂ ਸੁੱਟੇ ਜਾਣ ਵਾਲੇ ਪਿੰਡਾਂ ਲਈ ਵੀ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ ਹੈ, ਅਜਿਹਾ ਕਰਦੇ ਸਮੇਂ ਅਸੀਂ g ਦੀ ਥਾਂ ਤੇ ਚੰਨ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਚੰਨ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਅਤੇ R_E ਦੀ ਥਾਂ ਤੇ ਚੰਨ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ। ਇਹਨਾਂ ਦੋਨੋਂ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਦੇ ਚੰਨ ਦੇ ਲਈ ਮਾਨ ਧਰਤੀ ਤੇ ਇਹਨਾਂ ਮਾਨਾਂ ਤੋਂ ਘੱਟ ਹਨ ਅਤੇ ਚੰਨ ਦੇ ਲਈ ਪਲਾਇਨ ਚਾਲ ਦਾ ਮਾਨ 2.3 km/s = ਚਾਲ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਮਾਨ ਧਰਤੀ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਲਗਭਗ 1/5 ਗੁਣਾ ਹੈ। ਇਹੀ ਕਾਰਨ ਹੈ ਕਿ ਚੰਨ ਤੇ ਕੋਈ ਵਾਤਾਵਰਨ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਜੇ ਚੰਨ ਦੀ ਸਤਹ ਤੇ ਗੈਸੀ ਅਣੂ ਬਣਨ, ਤਾਂ ਉਹਨਾਂ ਦੀ ਚਾਲ ਇਸ ਪਲਾਇਨ ਚਾਲ ਤੋਂ ਵੱਧ ਹੋਵੇਗੀ ਅਤੇ ਇਹ ਚੰਨ ਦੀ ਗੁਰੂਤਾ ਖਿੱਚ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਪਲਾਇਨ ਕਰ ਜਾਣਗੇ।

▶**ਉਦਾਹਰਨ 8.4** ਬਰਾਬਰ ਅਰਧ ਵਿਆਸ R ਪਰੰਤੂ M ਅਤੇ 4 M ਪੁੰਜ ਦੇ ਦੋ ਠੋਸ ਗੋਲੇ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਰਖੇ ਹਨ ਕਿ ਇਹਨਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਵਿੱਚ ਦੂਰੀ (ਚਿੱਤਰ 8.10 ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਏ ਅਨੁਸਾਰ) 6 R ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 8.10

ਦੋਵੇਂ ਗੋਲੇ ਸਥਿਰ ਰਖੇ ਗਏ ਹਨ। m ਪੁੰਜ ਦੇ ਕਿਸੇ ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਨੂੰ M ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੋਲੇ ਦੀ ਸਤਹ ਤੋਂ 4 M ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੋਲੇ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਸਿੱਧਾ ਪ੍ਰਖੇਪਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਦੀ ਉਸ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਚਾਲ ਲਈ ਵਿਅੰਜਕ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰੋ ਜਿਸ ਨਾਲ ਸੁੱਟੇ ਜਾਣ ਤੇ ਉਹ ਦੂਸਰੇ ਗੋਲੇ ਦੀ ਸਤਹ ਤੇ ਪੁੱਜ ਜਾਵੇ।

ਹੱਲ : ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਤੇ ਦੋ ਗੋਲਿਆਂ ਦੇ ਕਾਰਨ ਵਿਰੋਧੀ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਕਾਰਜ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਉਦਾਸੀਨ ਬਿੰਦੂ N (ਚਿੱਤਰ 8.10 ਦੇਖੋ) ਨੂੰ ਇੱਕ ਅਜਿਹੇ ਬਿੰਦੂ (ਸਥਿਤੀ) ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਜਿੱਥੇ ਦੋ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਅਸਲ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਨੂੰ ਨਿਰਸਤ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਜੇ ON = r ਹੈ, ਤਾਂ

$$\frac{G\,M\,m}{r^2} = \frac{4\,G\,M\,m}{(6R-r)^2}$$

$$(6R - r)^2 = 4r^2$$

$$6R - r = \pm 2r$$

$$r = 2R \quad \text{ਜਾਂ} - 6R.$$

ਇਸ ਉਦਾਹਰਨ ਵਿੱਚ ਉਦਾਸੀਨ ਬਿੰਦੂ $r = -6R$ ਸਾਡੇ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਤ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਇਸ ਪ੍ਰਕਾਰ, ON = $r = 2R$ ਹੈ। ਕਣ ਨੂੰ ਉਸ ਚਾਲ ਨਾਲ ਪ੍ਰਖੇਪਿਤ ਕਰਨਾ ਕਾਫੀ ਹੈ ਜੋ ਉਸ ਨੂੰ N ਤੱਕ ਪਹੁੰਚਣ ਦੇ ਯੋਗ ਬਣਾ ਦੇਵੇ। ਇਸ ਤੋਂ ਬਾਅਦ ਉੱਥੇ ਪੁੱਜਣ ਤੇ 4M ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੋਲੇ ਦਾ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਕਣ ਨੂੰ ਆਪਣੇ ਵੱਲ ਖਿੱਚਣ ਲਈ ਕਾਫ਼ੀ ਹੋਵੇਗਾ। M ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੋਲੇ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ

$$E_i = \frac{1}{2}m\,v^2 - \frac{G\,M\,m}{R} - \frac{4\,G\,M\,m}{5\,R}$$

ਉਦਾਸੀਨ ਬਿੰਦੂ N ਤੇ ਕਣ ਦੀ ਚਾਲ ਜ਼ੀਰੋ ਮਾਨ ਵੱਲ ਪ੍ਰਵਿਰਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ N ਤੇ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸ਼ੁੱਧ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਥਿਤੀਜ ਊਰਜਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ

$$E_N = -\frac{GMm}{2R} - \frac{4GMm}{4R}$$

ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ

$$\frac{1}{2}v^2 - \frac{GM}{R} - \frac{4GM}{5R} = -\frac{GM}{2R} - \frac{GM}{R}$$

ਜਾਂ

$$v^2 = \frac{2\,G\,M}{R}\left(\frac{4}{5} - \frac{1}{2}\right)$$

$$v = \left(\frac{3\,G\,M}{5\,R}\right)^{1/2}$$

ਇੱਥੇ ਇਹ ਧਿਆਨ ਦਾ ਵਿਸ਼ਾ ਹੈ ਕਿ N ਤੇ ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਦੀ ਚਾਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ, ਪਰੰਤੂ ਜਦੋਂ ਇਹ 4 M ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੋਲੇ ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਂਦਾ ਤਾਂ ਇਸ ਦੀ ਚਾਲ ਜ਼ੀਰੋ ਨਹੀਂ ਰਹਿੰਦੀ। ਜਿਸ ਚਾਲ ਨਾਲ ਪ੍ਰਖੇਪਕ 4 M ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੋਲੇ ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਂਦਾ ਹੈ, ਉਸ ਨੂੰ ਗਿਆਤ ਕਰਨਾ ਵਿਦਿਆਰਥੀਆਂ ਦੇ ਅਭਿਆਸ ਲਈ ਛੱਡਿਆ ਜਾ ਰਿਹਾ ਹੈ। ◀

8.9 ਭੂਮੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ (EARTH SATELLITES)

ਭੂਮੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਉਹ ਪਿੰਡ ਹਨ ਜੋ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰ ਕਟਦੇ ਹਨ। ਇਹਨਾਂ ਦੀਆਂ ਗਤੀਆਂ, ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਗਤੀਆਂ ਦੇ ਬਹੁਤ ਸਮਾਨ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ, ਇਸਲਈ ਕੇਪਲਰ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਲਈ ਗਤੀ ਦੇ ਨਿਯਮ ਇਹਨਾਂ

ਤੇ ਵੀ ਬਰਾਬਰ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦੇ ਹਨ। ਖ਼ਾਸ ਗੱਲ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਇਹਨਾਂ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਕਕਸ਼ਾਵਾ (orbits) ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਜਾਂ ਇਲਿਪਟੀਕਲ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ। ਧਰਤੀ ਦਾ ਇਕਲੌਤਾ ਕੁਦਰਤੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਚੰਨ ਹੈ ਜਿਸਦੀ ਲਗਭਗ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ (orbit) ਹੈ ਅਤੇ ਲਗਭਗ 27.3 ਦਿਨਾਂ ਵਿੱਚ ਇਹ ਧਰਤੀ ਦੁਆਲ਼ੇ ਆਪਣਾ ਇੱਕ ਚੱਕਰ ਪੂਰਾ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਜੋ ਚੰਦਰਮਾ ਦੇ ਆਪਣੀ ਧੁਰੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਘੁੰਮਣ ਕਾਲ ਦੇ ਲਗਭਗ ਬਰਾਬਰ ਹੈ। ਸਾਲ 1957 ਦੇ ਬਾਅਦ ਵਿਗਿਆਨ ਅਤੇ ਤਕਨੀਕੀ ਵਿੱਚ ਉੱਨਤੀ ਦੇ ਨਤੀਜੇ ਵਜੋਂ ਭਾਰਤ ਸਹਿਤ ਕਈ ਦੇਸ਼ ਦੂਰ ਸੰਚਾਰ, ਭੂਮੀ, ਭੌਤਿਕੀ, ਮੌਸਮ ਵਿਗਿਆਨ ਦੇ ਖੇਤਰ ਵਿੱਚ ਵਿਵਹਾਰਿਕ ਉਪਯੋਗਾਂ ਦੇ ਲਈ ਮਨੁੱਖ-ਨਿਰਮਿਤ ਭੂਮੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਨੂੰ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਸਥਾਪਿਤ ਕਰਨ ਦੇ ਯੋਗ ਬਣ ਗਏ ਹਨ।

ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਨਾਲ $(R_E + h)$ ਦੂਰੀ ਤੇ ਸਥਿਤ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਗਤੀਮਾਨ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰਾਂਗੇ, ਜਿੱਥੇ R_E = ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਹੈ। ਜੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦਾ ਪੁੰਜ m ਅਤੇ V ਇਸਦੀ ਚਾਲ ਹੈ, ਤਾਂ ਇਸ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਅਭਿਕੇਂਦਰੀ ਬਲ

$$F\ (\text{ਅਭਿਕੇਂਦਰੀ}) = \frac{mV^2}{(R_E + h)} \qquad (8.33)$$

ਅਤੇ ਇਹ ਬਲ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵਲ ਨਿਰਦੇਸ਼ਿਤ ਹੈ। ਅਭਿਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ, ਜਿਸਦਾ ਮਾਨ

$$F\ (\text{ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ}) = \frac{G\, m\, M_E}{(R_E + h)} \qquad (8.34)$$

ਜਿੱਥੇ M_E ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ ਹੈ।

ਸਮੀਕਰਨ (8.33) ਅਤੇ (8.34) ਦੇ ਖੱਬੇ ਪਾਸਿਆਂ ਨੂੰ ਬਰਾਬਰ ਕਰਨ ਤੇ ਅਤੇ m ਨੂੰ ਕੱਟਣ ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$V^2 = \frac{G M_E}{(R_E + h)^2} \qquad (8.35)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ h ਦੇ ਵਧਣ ਤੇ V ਘਟਦਾ ਹੈ। ਸਮੀਕਰਨ (8.35) ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਜਦੋਂ $h = 0$ ਤਾਂ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਚਾਲ V ਹੈ।

$$V^2 \quad (h = 0) = GM / R_E = gR_E \qquad (8.36)$$

ਜਿੱਥੇ ਅਸੀਂ ਸੰਬੰਧ $g = GM / R_E^{\ 2}$ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕੀਤੀ ਹੈ।

ਹਰੇਕ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਉਪਗ੍ਰਹਿ $2\pi(R_E + h)$ ਦੀ ਦੂਰੀ ਨੂੰ ਚਾਲ V ਨਾਲ ਤੈਅ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਇਸਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ T ਹੋਵੇਗਾ।

$$T = \frac{2\pi(R_E + h)}{V} = \frac{2\pi(R_E + h)^{3/2}}{\sqrt{G M_E}} \qquad (8.37)$$

ਜਿੱਥੇ ਅਸੀਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.35) ਤੋਂ V ਦਾ ਮਾਨ ਭਰਿਆ ਹੈ। ਸਮੀਕਰਨ (8.37) ਦੇ ਦੋਨੋਂ ਪਾਸਿਆਂ ਦਾ ਵਰਗ ਕਰਨ ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$T^2 = k\ (R_E + h)^3 \ (\text{ਜਿੱਥੇ } k = 4\pi^2 / GM_E) \qquad (8.38)$$

ਅਤੇ ਇਹੀ ਕੇਪਲਰ ਦਾ ਆਵਰਤਕਾਲਾਂ ਦਾ ਨਿਯਮ ਹੈ ਜਿਸਦੀ ਵਰਤੋਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀਆਂ ਗਤੀਆਂ ਦੇ ਲਈ ਕੀਤੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

ਉਹਨਾਂ ਭੂਮੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੇ ਲਈ, ਜੋ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਦੇ ਬਹੁਤ ਨੇੜੇ ਹੁੰਦੇ ਹਨ, h ਦੇ ਮਾਨ ਨੂੰ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ R_E ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਸਮੀਕਰਨ (8.38) ਵਿੱਚ ਨਕਾਰਨਯੋਗ ਮੰਨ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ। ਇਸ ਲਈ ਇਸ ਪ੍ਰਕਾਰ ਦੇ ਭੂਮੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੇ ਲਈ T ਹੀ T_o ਹੁੰਦਾ ਹੈ,

ਜਿੱਥੇ

$$T_0 = 2\pi\sqrt{R_E / g} \qquad (8.39)$$

ਜੇ ਅਸੀਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.39) ਵਿੱਚ g ਅਤੇ R_E ਦੇ ਅੰਕਿਕ ਮਾਨਾਂ $g \simeq 9.8\ \text{m s}^{-2}$ ਅਤੇ $R_E = 6400$ km. ਨੂੰ ਭਰੀਏ ਤਾਂ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{6.4 \times 10^6}{9.8}}\ \text{s}$$

ਜੋ ਲਗਭਗ 85 ਮਿੰਟ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 8.5** ਮੰਗਲ ਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਫੋਬੋਸ ਅਤੇ ਡੇਲਮੋਸ (phobos and delmos) ਦੋ ਚੰਨ ਹਨ (i) ਜੇ ਫੋਬੋਸ ਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ 7 ਘੰਟੇ 39 ਮਿੰਟ ਅਤੇ ਕਕਸ਼ਾ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ 9.4×10^3 km ਹੈ ਤਾਂ ਮੰਗਲ ਦਾ ਪੁੰਜ ਪਰਿਕਲਿਤ ਕਰੋ। (ii) ਇਹ ਮੰਨਦੇ ਹੋਏ ਕਿ ਧਰਤੀ ਅਤੇ ਮੰਗਲ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਦੀਆਂ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਘੁੰਮ ਰਹੇ ਹਨ ਅਤੇ ਮੰਗਲ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਧਰਤੀ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਤੋਂ 1.52 ਗੁਣਾ ਹੈ ਤਾਂ ਮੰਗਲ ਦਾ ਸਾਲ ਕਿੰਨੇ ਦਿਨਾਂ ਦਾ ਹੋਵੇਗਾ ?

ਹੱਲ : (i) ਇੱਥੇ ਸਮੀਕਰਨ (8.38) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਪੁੰਜ M_E ਨੂੰ ਮੰਗਲ ਦੇ ਪੁੰਜ M_m ਨਾਲ ਬਦਲ ਦਿੰਦੇ ਹਾਂ –

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_m} R^3$$

$$M_m = \frac{4\pi^2}{G}\frac{R^3}{T^2}$$

$$= \frac{4 \times (3.14)^2 \times (9.4)^3 \times 10^{18}}{6.67 \times 10^{-11} \times (459 \times 60)^2}$$

$$M_m = \frac{4 \times (3.14)^2 \times (9.4)^3 \times 10^{18}}{6.67 \times (4.59 \times 6)^2 \times 10^{-5}}$$

$$= 6.48 \times 10^{23}\ \text{kg.}$$

(ii) ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਆਵਰਤ ਕਾਲਾਂ ਦੇ ਨਿਯਮ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਨ ਤੇ

$$\frac{T_M^2}{T_E^2} = \frac{R_{MS}^3}{R_{ES}^3}$$

ਇੱਥੇ R_{MS} ਅਤੇ R_{ES} ਕ੍ਰਮਵਾਰ ਮੰਗਲ-ਸੂਰਜ ਅਤੇ ਧਰਤੀ-ਸੂਰਜ ਦੇ ਵਿੱਚਲੀਆਂ ਦੂਰੀਆਂ ਹਨ।

$\therefore \quad T_M = (1.52)^{3/2} \times 365$

$= 684$ ਦਿਨ

ਧਿਆਨ ਦੇਣ ਯੋਗ ਗੱਲ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਬੁੱਧ, ਮੰਗਲ ਅਤੇ ਪਲੂਟੋ* ਤੋਂ ਇਲਾਵਾ ਸਾਰੇ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀਆਂ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਲਗਭਗ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ। ਉਦਾਹਰਨ ਲਈ, ਸਾਡੀ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਲਘੂ ਧੁਰੇ (semi-minor axis) ਅਤੇ ਅਰਧ ਵੱਡੇ ਧੁਰੇ (semi-major axis) ਦਾ ਅਨੁਪਾਤ $b/a = 0.99986$ ਹੈ।◀

▶**ਉਦਾਹਰਨ 8.6** ਧਰਤੀ ਨੂੰ ਤੋਲਨਾ : ਤੁਹਾਨੂੰ ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਅੰਕੜੇ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਹਨ, $g = 9.81\ ms^{-2}$ $R_E = 6.37\times10^6$ m । ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਚੰਨ ਦੀ ਦੂਰੀ $R = 3.84\times10^8$ m ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੰਨ ਦੇ ਘੁੰਮਣ ਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ = 27.3 ਦਿਨ। ਦੋ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਵਿਧੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : (i) ਪਹਿਲੀ ਵਿਧੀ : ਸਮੀਕਰਨ (8.12) ਤੋਂ

$$M_E = \frac{g R_E^2}{G}$$

$$= \frac{9.81\times\left(6.37\times10^6\right)^2}{6.67\times10^{-11}}$$

$$= 5.97\times 10^{24}\ \text{kg.}$$

(ii) ਦੂਸਰੀ ਵਿਧੀ : ਚੰਨ ਧਰਤੀ ਦਾ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਹੈ ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਆਵਰਤ ਕਾਲਾਂ ਦੇ ਨਿਯਮ ਦੀ ਵਿਉਤਪਤੀ ਵਿੱਚ (ਸਮੀਕਰਨ 8.38 ਦੇਖੋ)

$$T^2 = \frac{4\pi^2R^3}{G\,M_E}$$

$$M_E = \frac{4\pi^2R^3}{G\,T^2}$$

$$= \frac{4\times3.14\times3.14\times(3.84)^3\times10^{24}}{6.67\times10^{-11}\times(27.3\times24\times60\times60)^2}$$

$$= 6.02\times10^{24}\ \text{kg}$$

ਦੋਵੇਂ ਵਿਧੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਲਗਭਗ ਬਰਾਬਰ ਉੱਤਰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦੇ ਹਨ ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚ 1% ਤੋਂ ਵੀ ਘੱਟ ਦਾ ਅੰਤਰ ਹੈ। ◀

▶**ਉਦਾਹਰਨ 8.7** ਸਮੀਕਰਨ (8.38) ਵਿੱਚ ਸਥਿਰ ਅੰਕ k ਨੂੰ ਦਿਨਾਂ ਅਤੇ ਕਿਲੋਮੀਟਰਾਂ ਵਿੱਚ ਵਿਅਕਤ ਕਰੋ। $k = 10^{-13}\ s^2\ m^{-3}$ ਹੈ। ਚੰਨ ਧਰਤੀ ਤੋਂ 3.84×10^5 km ਦੂਰ ਹੈ। ਚੰਨ ਦੇ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਘੁੰਮਣ ਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਦਿਨਾਂ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਅਸੀਂ ਜਾਣਦੇ ਹਾਂ -

$k = 10^{-13}\ s^2\ m^{-3}$

$$= 10^{-13}\left[\frac{1}{(24\times60\times60)^2}d^2\right]\left[\frac{1}{(1/1000)^3 km^3}\right]$$

$$= 1.33\times10^{-14}\ d^2\ \ km^{-3}$$

ਸਮੀਕਰਨਾਂ (8.38) ਅਤੇ k ਦੇ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਮਾਨ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਨ ਤੇ ਚੰਨ ਦਾ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਘੁੰਮਣ ਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ

$T^2 = (1.33\times10^{-14})(3.84\times10^5)^3$

$T = 27.3$ ਦਿਨ

ਧਿਆਨ ਦਿਓ, ਜੇ ਅਸੀਂ (R_E+h) ਨੂੰ ਇਲਿਪਸ ਦੇ ਅਰਧ ਵੱਡੇ ਧੁਰੇ (a) ਦੁਆਰਾ ਬਦਲਦੇ ਹਾਂ ਤਾਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.38) ਨੂੰ ਇਲਿਪਸੀ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਤੇ ਵੀ ਲਾਗੂ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਧਰਤੀ ਇਸ ਇਲਿਪਸ ਦਾ ਇੱਕ ਫੋਕਸ ਹੋਵੇਗੀ। ◀

8.10 ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਊਰਜਾ (ENERGY OF AN ORBITING SATELLITE)

ਸਮੀਕਰਨ (8.35) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਨ ਤੇ ਚੱਕਰ ਅਕਾਰ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਚਾਲ υ ਨਾਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ

$$K.E = \frac{1}{2}m\upsilon^2$$

υ^2 ਦਾ ਮਾਨ ਸਮੀਕਰਨ (8.35) ਵਿੱਚ ਰੱਖਣ ਤੇ

$$K.E. = \frac{Gm\,M_E}{2(R_E+h)} \qquad (8.40)$$

ਅਜਿਹਾ ਮੰਨੋ ਕਿ ਅਨੰਤ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ ਤਦ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ (R+h) ਦੂਰੀ ਤੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਸਥਿਤਜ ਊਰਜਾ

$$P.E = -\frac{G\,m\,M_E}{(R_E+h)} \qquad (8.41)$$

K.E ਧਨਾਤਮਕ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ P.E ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਬਲਕਿ, ਪਰਿਮਾਣ ਵਿੱਚ

$$K.E = \frac{1}{2}P.E.$$

ਇਸ ਲਈ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ

$$E = K.E + P.E = -\frac{G\,m\,M_E}{2(R_E + h)} \qquad (8.42)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਚੱਕਰ ਅਕਾਰ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਜਦੋਂਕਿ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਰਿਣਾਤਮਕ ਅਤੇ ਪਰਿਮਾਣ ਵਿੱਚ ਧਨਾਤਮਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਦੋ ਗੁਣਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਜਦੋਂ ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਇਲਿਪਸੀ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਉਸਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੋਨੋ ਹੀ ਪਥ ਦੇ ਹਰੇਕ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ। ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਵਾਲੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ ਕੇਸ ਦੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹੀ ਅਸੀਂ ਉਮੀਦ ਵੀ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਕਿਉਂਕਿ ਜਿਵੇਂ ਅਸੀਂ ਪਹਿਲਾਂ ਹੀ ਚਰਚਾ ਕਰ ਚੁੱਕੇ ਹਾਂ ਕਿ ਜੇ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਧਨਾਤਮਕ ਜਾਂ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਪਿੰਡ ਅਨੰਤ ਵੱਲ ਪਲਾਇਨ ਕਰ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਸਦਾ ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਦੂਰੀਆਂ ਤੇ ਚੱਕਰ ਕੱਟਦੇ ਹਨ ਇਸ ਲਈ ਉਹਨਾਂ ਦੀਆਂ ਊਰਜਾਵਾਂ ਧਨਾਤਮਕ ਜਾਂ ਜ਼ੀਰੋ ਨਹੀਂ ਹੋ ਸਕਦੀਆਂ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 8.8 :** 400 kg ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ $2R_E$ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੀ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਚੱਕਰ ਕੱਟ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ $4R_E$ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਸਥਾਨਾਂਤਰਿਤ ਕਰਨ ਦੇ ਲਈ ਲੋੜੀਂਦੀ ਊਰਜਾ ਪਤਾ ਕਰੋ। ਇਸਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਕਿੰਨਾਂ ਪਰਿਵਰਤਨ ਹੋਵੇਗਾ ?

ਹੱਲ : ਸ਼ੁਰੂ ਵਿੱਚ

$$E_i = -\frac{G\,M_E\,m}{4\,R_E}$$

ਜਦੋਂ ਕਿ ਅੰਤ ਵਿੱਚ

$$E_f = -\frac{G\,M_E\,m}{8\,R_E}$$

ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ

$$\Delta E = E_f - E_i$$

$$= \frac{G\,M_E\,m}{8\,R_E} = \left(\frac{G\,M_E}{R_E^2}\right)\frac{m\,R_E}{8}$$

$$\Delta E = \frac{g\,m\,R_E}{8} = \frac{9.81 \times 400 \times 6.37 \times 10^6}{8}$$

$$= 3.13 \times 10^9 \text{J}$$

ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਘੱਟ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ΔE ਦੀ ਸਾਂਗ (mimics) ਲਾਉਂਦੀ ਲੱਗਦੀ ਹੈ ਅਰਥਾਤ

$$\Delta K = K_f - K_i = -3.13 \times 10^9 \text{ J}$$

ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਹੋਣ ਵਾਲਾ ਪਰਿਵਰਤਨ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਦਾ ਦੋ ਗੁਣਾ ਹੈ, ਅਰਥਾਤ

$$\Delta V = V_f - V_i = -6.25 \times 10^9 \text{ J}$$

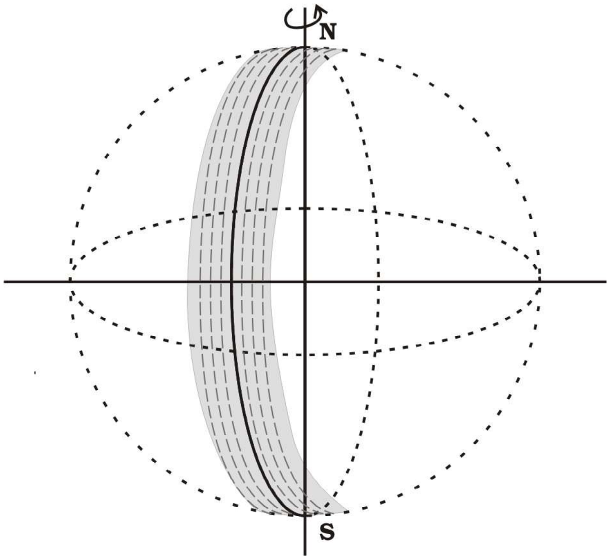
8.11 ਭੂ-ਸਥਿਰ ਅਤੇ ਧਰੁਵੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ (GEOSTATIONARY AND POLAR SATELLITES)

ਜੇ ਅਸੀਂ ਸਮੀਕਰਨ (8.37) ਵਿੱਚ (R_E+ h) ਦੇ ਮਾਨ ਵਿੱਚ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਮਾਯੋਜਨ ਕਰੀਏ ਕਿ ਆਵਰਤ ਕਾਲ T ਦਾ ਮਾਨ 24 ਘੰਟੇ ਹੋ ਜਾਵੇ, ਤਾਂ ਇੱਕ ਬਹੁਤ ਹੀ ਰੋਚਕ ਵਰਤਾਰਾ ਪੈਦਾ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਚੱਕਰੀ ਕਕਸ਼ਾ ਧਰਤੀ ਦੇ ਭੂਮੱਧਵਰਤੀ ਚੱਕਰ ਦੇ ਤਲ (equitorial plane) ਵਿੱਚ ਹੈ, ਤਾਂ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦਾ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਜਿਸਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਧਰਤੀ ਦੇ ਆਪਣੇ ਧੁਰੇ ਤੇ ਘੁੰਮਣ ਗਤੀ ਕਰਨ ਦੇ ਆਵਰਤ ਕਾਲ (Period of rotation of earth about its own axis) ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕਿਸੇ ਬਿੰਦੂ ਤੋਂ ਦੇਖਣ ਤੇ ਸਥਿਰ ਪ੍ਰਤੀਤ ਹੋਵੇਗਾ। ਇਸ ਮੰਤਵ ਲਈ ਗਣਨਾ ਕਰਨ ਤੇ (R_E + h) ਦਾ ਮਾਨ R_E ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਆਉਂਦਾ ਹੈ।

$$R_E + h = \left(\frac{T^2\,G\,M_E}{4\pi^2}\right)^{1/3} \qquad (8.43)$$

T = 24 ਘੰਟੇ ਲਈ, ਗਣਨਾ ਕਰਨ ਤੇ $R_E + h = 35800$ *km.*, ਜੋ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ R_E ਤੋਂ ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੈ। ਅਜਿਹੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਜੋ ਧਰਤੀ ਦੇ ਭੂ-ਮੱਧ ਰੇਖੀ ਚੱਕਰ ਦੇ ਤਲ ਵਿੱਚ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ T = 24 ਘੰਟੇ ਦੇ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਨਾਲ ਚੱਕਰ ਕੱਟਦੇ ਹਨ, ਜੀਓਸਟੇਸ਼ਨਰੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ (Geostationery) ਕਹਾਉਂਦੇ ਹਨ। ਸਪਸ਼ਟ ਹੈ ਕਿ ਧਰਤੀ ਬਰਾਬਰ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਨਾਲ ਆਪਣੇ ਧੁਰੇ ਤੇ ਘੁੰਮਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕਿਸੇ ਵੀ ਬਿੰਦੂ ਤੋਂ ਸਥਿਰ ਪ੍ਰਤੀਤ ਹੋਵੇਗਾ। ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹ ਤੋਂ ਇੰਨੀ ਵੱਧ ਉਚਾਈ ਤੱਕ ਉੱਪਰ ਸੁੱਟਣ ਲਈ ਬਹੁਤ ਹੀ ਸ਼ਕਤੀਸ਼ਾਲੀ ਰਾੱਕਟਾਂ ਦੀ ਲੋੜ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਪਰ, ਬਹੁਤ ਸਾਰੇ ਵਿਵਹਾਰਕ ਲਾਭਾਂ ਨੂੰ ਧਿਆਨ ਵਿੱਚ ਰੱਖ ਕੇ ਇਹਨਾਂ ਦਾ ਪ੍ਰਬੰਧ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

ਅਸੀਂ ਜਾਣਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਇਕ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਆਵ੍ਰਿਤੀ (frequency) ਦੀਆਂ ਬਿਜਲ ਚੁੰਬਕੀ ਤਰੰਗਾ (electromagnetic waves) ਆਇਨਮੰਡਲ (ionosphere) ਦੁਆਰਾ ਪਰਾਵਰਤਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀਆਂ। ਰੇਡੀਓ ਪ੍ਰਸਾਰਨ (Radio broadcast) ਵਿੱਚ



ਚਿੱਤਰ 8.11 ਧਰੁਵੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ। ਇਕ ਚੱਕਰ ਵਿਚ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਤੋਂ ਦਿਖਾਈ ਦੇਣ ਵਾਲੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਦੀ ਇੱਕ ਪੱਟੀ (ਸ਼ੇਡ ਕੀਤੀ ਗਈ ਹੈ) ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਅਗਲੇ ਚੱਕਰ ਦੇ ਲਈ ਧਰਤੀ ਆਪਣੇ ਧੁਰੇ ਤੇ ਕੁਝ ਘੁੰਮ ਗਈ ਹੈ, ਜਿਸ ਨਾਲ ਅਗਲੀ ਪੱਟੀ ਦਿਖਾਈ ਦੇਣ ਲਗਦੀ ਹੈ।

ਵਰਤੋਂ ਹੋਣ ਵਾਲੀਆਂ ਰੇਡੀਓ ਤਰੰਗਾਂ ਜਿਹਨਾਂ ਦਾ ਆਵ੍ਰਿਤੀ ਪਸਾਰ (frequency range) 2 MHz ਤੋਂ 10 MHz ਹੈ, ਕ੍ਰਾਂਤਿਕ ਆਵ੍ਰਿਤੀ (critical frequency) ਤੋਂ ਘੱਟ ਹੈ, ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਤਰੰਗਾਂ ਆਇਨਮੰਡਲ ਤੋਂ ਪਰਾਵਰਤਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀਆਂ ਹਨ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਕਿਸੇ ਐਂਟੀਨਾ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਰੇਡੀਓ ਤਰੰਗ ਪ੍ਰਸਾਰਨ ਉਹਨਾਂ ਸਥਾਨਾਂ ਤੇ ਵੀ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਜੋ ਬਹੁਤ ਦੂਰ ਹਨ ਅਤੇ ਧਰਤੀ ਦੀ ਵਕਰਤਾ (curvature) ਦੇ ਕਾਰਨ ਜਿੱਥੇ ਤਰੰਗਾਂ ਸਿੱਧੀਆਂ ਨਹੀਂ ਪੁੱਜ ਸਕਦੀਆਂ। ਦੂਰਦਰਸ਼ਨ ਪ੍ਰਸਾਰਨ ਜਾਂ ਹੋਰ ਪ੍ਰਕਾਰ ਦੇ ਸੰਚਾਰ ਵਿੱਚ ਉਪਯੋਗ ਹੋਣ ਵਾਲੀਆਂ ਤਰੰਗਾਂ ਦੀਆਂ ਆਵ੍ਰਿਤੀਆਂ ਬਹੁਤ ਹੀ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ, ਇਸ ਲਈ ਇਹਨਾਂ ਨੂੰ ਸਿੱਧੇ ਹੀ ਦ੍ਰਿਸ਼ਟੀ ਰੇਖਾ (line of sight) ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਨਹੀਂ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ। ਪ੍ਰਸਾਰਨ ਕੇਂਦਰ ਦੇ ਉੱਪਰ ਸਥਾਪਿਤ ਕੋਈ ਜੀਓਸਟੇਸ਼ਨਰੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਜੋ ਸਥਿਰ ਪ੍ਰਤੀਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਇਹਨਾਂ ਸਿਗਨਲਾਂ (signals) ਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਕੇ ਉਹਨਾਂ ਨੂੰ, ਧਰਤੀ ਦੇ ਵੱਡੇ ਖੇਤਰ ਤੇ ਮੁੜ ਪ੍ਰਸਾਰਿਤ ਕਰ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਭਾਰਤ ਦੁਆਰਾ ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਭੇਜਿਆ ਗਿਆ ਇਨਸੈਟ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਸਮੂਹ ਅਜਿਹਾ ਹੀ ਜੀਓ-ਸਟੇਸ਼ਨਰੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਸਮੂਹ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਵਿਸਤ੍ਰਿਤ ਉਪਯੋਗ ਦੂਰ ਸੰਚਾਰ ਦੇ ਲਈ ਭਾਰਤ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਜਾ ਰਿਹਾ ਹੈ।

ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਇੱਕ ਹੋਰ ਸ਼੍ਰੇਣੀ ਹੈ ਜਿਸ ਨੂੰ ਧਰੁਵੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ (Polar satellites) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਇਹ ਘੱਟ ਉਚਾਣ (low altitude) ($h \approx$ 500 to 800 km) ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਹਨ। ਪਰ ਇਹ ਧਰਤੀ ਦੇ ਧਰੁਵਾਂ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਉੱਤਰ ਦੱਖਣ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਚੱਕਰ ਕੱਟਦੇ ਹਨ ਜਦੋਂਕਿ ਧਰਤੀ ਆਪਣੇ ਧੁਰੇ ਤੇ ਪੱਛਮ ਤੋਂ ਪੂਰਵ ਵੱਲ ਘੁੰਮਦੀ ਹੈ। (ਦੇਖੋ ਚਿੱਤਰ 8.11)। ਕਿਉਂਕਿ ਇਹਨਾਂ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦਾ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਲਗਭਗ 100 ਮਿੰਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਕਿਸੇ ਵੀ ਵਿਥਕਾਰ (latitude) ਤੋਂ ਦਿਨ ਵਿੱਚ ਕਈ ਵਾਰ ਲੰਘਦੇ ਹਨ ਪਰ, ਕਿਉਂਕਿ ਇਹਨਾਂ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਉਚਾਈ h ਲਗਭਗ 500-800 km ਹੁੰਦੀ ਹੈ, ਇਸ ਲਈ ਇਸ ਤੇ ਲੱਗੇ ਕਿਸੇ ਕੈਮਰੇ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਇੱਕ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਸਿਰਫ਼ ਧਰਤੀ ਦੀ ਇੱਕ ਛੋਟੀ ਪੱਟੀ ਦਾ ਹੀ ਦ੍ਰਿਸ਼ ਲਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਨਾਲ ਲਗਦੀਆਂ (adjacent strips) ਪੱਟੀਆਂ ਨੂੰ ਅਗਲੇ ਗੇੜੇ ਵਿੱਚ ਦੇਖਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਅਸਰਕਾਰਕ ਢੰਗ ਨਾਲ ਪੱਟੀ-ਦਰ-ਪੱਟੀ ਪੂਰੀ ਧਰਤੀ ਦਾ ਸਰਵੇਖਣ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਨੇੜੇ ਤੋਂ ਵਧੀਆ ਵਿਭੇਦਨ (resolution) ਦੇ ਨਾਲ, ਭੂ-ਮੱਧਵਰਤੀ ਅਤੇ ਧਰੁਵੀ ਖੇਤਰਾਂ ਦਾ ਸਰਵੇਖਣ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਨ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੁਆਰਾ ਇਕੱਠੀ ਕੀਤੀ ਗਈ ਸੂਚਨਾ ਸੁਦੂਰ ਸੰਵੇਦਨ (remote sensing), ਮੌਸਮ ਵਿਗਿਆਨ (meterology) ਦੇ ਨਾਲ ਧਰਤੀ ਦੇ ਵਾਤਾਵਰਨ ਦੇ ਅਧਿਐਨ (environmental studies) ਦੇ ਲਈ ਵੀ ਬਹੁਤ ਉਪਯੋਗੀ ਹੈ।

8.12 ਭਾਰਹੀਣਤਾ (WEIGHTLESSNESS)

ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦਾ ਭਾਰ ਉਹ ਬਲ ਹੈ ਜਿਸ ਨਾਲ ਧਰਤੀ ਉਸ ਨੂੰ ਆਪਣੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਆਕਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦੀ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਸਤਹ ਤੇ ਖੜੇ ਹੁੰਦੇ ਹਾਂ ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਆਪਣੇ ਭਾਰ ਦਾ ਬੋਧ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਕਿਉਂਕਿ ਉਹ ਸਤਹਿ ਸਾਡੇ ਭਾਰ ਦੇ ਉਲਟ ਬਲ ਲਗਾ ਕੇ ਸਾਨੂੰ ਵਿਰਾਮ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਰੱਖਦਾ ਹੈ। ਇਹੀ ਸਿਧਾਂਤ ਉਸ ਸਮੇਂ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਸਥਿਰ ਬਿੰਦੂ, ਜਿਵੇਂ ਛੱਤ ਨਾਲ ਲਟਕੀ ਕਿਸੇ ਕਮਾਨੀਦਾਰ ਤੁਲਾ ਨਾਲ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦਾ ਭਾਰ ਮਾਪਦੇ ਹਾਂ। ਜੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਉਲਟ ਪਿੰਡ ਤੇ ਕੋਈ ਬਲ ਨਾ ਲਗੇ ਤਾਂ ਉਹ ਹੇਠਾਂ ਡਿੱਗ ਜਾਵੇਗਾ। ਕਮਾਨੀ ਵੀ ਯਥਾਰਥ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪਿੰਡ ਤੇ ਇਸੇ ਤਰ੍ਹਾਂ ਬਲ ਲਗਾਉਂਦੀ ਹੈ। ਅਜਿਹਾ ਇਸ ਲਈ ਹੈ ਕਿਉਂਕਿ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗੇ ਗੁਰੂਤਾ ਖਿਚਾਅ ਦੇ ਕਾਰਨ ਕਮਾਨੀ ਹੇਠਾਂ ਵੱਲ ਨੂੰ ਕੁੱਝ ਖਿੱਚੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਕਮਾਨੀ ਆਪਣੀ ਵਾਰੀ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਉੱਪਰ ਵੱਲ ਨੂੰ ਪਿੰਡ ਤੇ ਇੱਕ ਬਲ ਲਗਾਉਂਦੀ ਹੈ।

ਹੁਣ ਕਲਪਨਾ ਕਰੋ ਕਿ ਕਮਾਨੀਦਾਰ ਤੁਲਾ ਦਾ ਉੱਪਰੀ ਸਿਰਾ ਕਮਰੇ ਦੀ ਛੱਤ ਨਾਲ ਜੁੜ ਕੇ ਸਥਿਰ ਨਹੀਂ ਹੈ।

ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਭਾਰਤ ਦੀ ਛਲਾਂਗ
(India's leap into space)

ਭਾਰਤ ਨੇ 1975 ਵਿੱਚ ਨਿਮਨ ਕਕਸ਼ਾ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਆਰਿਆਭੱਟ (low orbit satellite Aryabhatta) ਦੇ ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਦੇ ਨਾਲ ਪੁਲਾੜ ਯੁੱਗ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਵੇਸ਼ ਕੀਤਾ। ਪ੍ਰੋਗਰਾਮ ਦੇ ਪਹਿਲੇ ਕੁਝ ਸਾਲਾਂ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਵਾਹਨ ਉਸ ਸਮੇਂ ਦੇ ਸੋਵੀਅਤ ਸੰਘ ਦੁਆਰਾ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕੀਤੇ ਗਏ ਸਨ। 1980 ਦੇ ਸ਼ੁਰੂ ਵਿੱਚ ਰੋਹਿਣੀ ਲੜੀ ਦੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਨੂੰ ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਭੇਜਣ ਦੇ ਲਈ ਦੇਸ਼ ਵਿੱਚ ਬਣੇ ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਵਾਹਨਾਂ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕੀਤੀ ਗਈ। ਧਰੁਵੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਨੂੰ ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਭੇਜਣ ਦੇ ਪ੍ਰੋਗਰਾਮ 1980 ਵਾਲੇ ਦਹਾਕੇ ਦੇ ਅੰਤ ਵਿੱਚ ਸ਼ੁਰੂ ਹੋਏ। IRS (ਭਾਰਤੀ ਸੁਦੂਰ ਸੰਵੇਦਨ ਉਪਗ੍ਰਹਿ) ਨਾਮ ਵਾਲੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਲੜੀ ਵੀ ਪ੍ਰਖੇਪਿਤ ਕੀਤੀ ਜਾ ਚੁੱਕੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ ਪ੍ਰੋਗਰਾਮ ਭਵਿੱਖ ਵਿੱਚ ਵੀ ਚਲਦਾ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਹੈ। ਇਹ ਉਪਗ੍ਰਹਿ, ਸਰਵੇਖਣ, ਮੌਸਮ ਦੀ ਭਵਿੱਖਵਾਨੀ ਅਤੇ ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਕੀਤੇ ਜਾਣ ਵਾਲੇ ਪ੍ਰਯੋਗਾਂ ਵਿੱਚ ਇਸਤੇਮਾਲ ਕੀਤੇ ਜਾਂਦੇ ਹਨ। INSAT (ਭਾਰਤੀ ਰਾਸ਼ਟਰੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ Indian national satellite) ਲੜੀ ਦੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ 1982 ਦੇ ਸ਼ੁਰੂ ਵਿੱਚ ਦੂਰ ਸੰਚਾਰ ਅਤੇ ਮੌਸਮ ਦੀ ਭਵਿੱਖਵਾਨੀ ਦੇ ਲਈ ਲਾਏ ਗਏ। INSAT ਲੜੀ ਦੇ ਲਈ ਯੂਰੋਪੀ ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਵਾਹਨਾਂ ਦੀ ਸਹਾਇਤਾ ਲਈ ਗਈ। ਭਾਰਤ ਨੇ ਆਪਣੇ ਜੀਓਸਟੇਸ਼ਨਰੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਸਮੱਰਥਾ ਦਾ ਪਰੀਖਣ 2001 ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਜਦੋਂ ਉਸਨੇ ਇੱਕ ਪ੍ਰਯੋਜਕ ਦੂਰ ਸੰਚਾਰ ਉਪਗ੍ਰਹਿ (GSAT-1) ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਭੇਜਿਆ। 1984 ਵਿੱਚ ਰਾਕੇਸ਼ ਸ਼ਰਮਾ ਪਹਿਲੇ ਭਾਰਤੀ ਪੁਲਾੜ ਯਾਤਰੀ ਬਣੇ। ਭਾਰਤੀ ਪੁਲਾੜ ਸ਼ੋਧ ਸੰਗਠਨ (ISRO, Indian space Research Organisation) ਇੱਕ ਵੱਡਾ ਸੰਗਠਨ ਹੈ ਜੋ ਬਹੁਤ ਸਾਰੇ ਕੇਂਦਰ ਚਲਾਉਂਦਾ ਹੈ। ਇਸਦਾ ਮੁੱਖ ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਕੇਂਦਰ ਸ੍ਰੀ ਹਰੀਕੋਟਾ (SHAR) ਵਿੱਚ ਹੈ ਜੋ ਚੇਨੱਈ ਤੋਂ 100 km ਦੂਰ ਸਥਿਤ ਹੈ। ਰਾਸ਼ਟਰੀ ਸੁਦੂਰ ਸੰਵੇਦਨ ਏਜੰਸੀ (NRSA) ਹੈਦਰਾਬਾਦ ਦੇ ਨੇੜੇ ਸਥਿਤ ਹੈ। ਪੁਲਾੜ ਅਤੇ ਸਮਵਰਗੀ ਵਿਗਿਆਨਾਂ (Space and allied science) ਲਈ ਇਸਦਾ ਰਾਸ਼ਟਰੀ ਸ਼ੋਧ ਕੇਂਦਰ, ਅਹਿਮਦਾਬਾਦ ਦੀ ਭੌਤਿਕੀ ਸ਼ੋਧ ਪ੍ਰਯੋਗਸ਼ਾਲਾ (PRL) ਹੈ

ਤਦ ਕਮਾਨੀ ਦੇ ਦੋਨੋਂ ਸਿਰਿਆਂ ਦੇ ਨਾਲ-ਨਾਲ ਪਿੰਡ ਵੀ ਇਕੋ-ਜਿਹੇ ਪ੍ਰਵੇਗ g ਨਾਲ ਗਤੀ ਕਰਨਗੇ। ਇਸ ਸਮੇਂ ਕਮਾਨੀ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਖਿਚਾਵ ਨਹੀਂ ਹੋਵੇਗਾ ਅਤੇ ਉਹ ਉਸ ਪਿੰਡ ਤੇ, ਜੋ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ g ਪ੍ਰਵੇਗ ਨਾਲ ਨੀਚੇ ਵੱਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਹੈ, ਕੋਈ ਬਲ ਨਹੀਂ ਲਗਾਏਗਾ। ਕਮਾਨੀਦਾਰ ਤੁਲਾ ਦੀ ਇਸ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਪੜ੍ਹਤ (reading), ਕਮਾਨੀ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਖਿੱਚ ਨਾ ਹੋਣ ਕਾਰਨ, ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇਗੀ। ਜੇ ਉਸ ਪਿੰਡ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਇਸਤਰੀ ਜਾਂ ਪੁਰਸ਼ ਹੈ, ਤਾਂ ਉਹ ਇਸ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਆਪਣੇ ਭਾਰ ਦਾ ਅਨੁਭਵ ਨਹੀਂ ਕਰੇਗੀ/ਕਰੇਗਾ, ਕਿਉਂਕਿ ਉਸ ਤੇ ਉੱਪਰ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵੱਲ ਕੋਈ ਬਲ ਨਹੀਂ ਲੱਗ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਜਦੋਂ ਕੋਈ ਪਿੰਡ ਸੁਤੰਤਰਤਾ ਨਾਲ ਡਿਗਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਉਹ ਭਾਰਹੀਣ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਅਤੇ ਇਸ ਵਰਤਾਰੇ ਨੂੰ ਆਮ ਕਰਕੇ ਭਾਰਹੀਣਤਾ ਦਾ ਵਰਤਾਰਾ ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰ ਲਗਾਉਣ ਵਾਲੇ ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਵਿੱਚ, ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦਾ ਹਰ ਛੋਟੇ ਤੋਂ ਛੋਟਾ ਟੁਕੜਾ ਅਤੇ ਉਸਦੇ ਅੰਦਰ ਦੀ ਹਰੇਕ ਵਸਤੂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਪ੍ਰਵੇਗਿਤ ਗਤੀ ਨਾਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਹੈ, ਅਤੇ ਇਸ ਗਤੀ ਦਾ ਪ੍ਰਵੇਗ, ਅਸਲ ਰੂਪ ਵਿੱਚ, ਉਸ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਅੰਦਰ ਦੀ ਹਰੇਕ ਵਸਤੂ ਸੁਤੰਤਰਤਾ ਨਾਲ ਡਿਗਦੀ ਹੈ। ਇਹ ਠੀਕ ਅਜਿਹਾ ਹੀ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਉਚਾਈ ਤੋਂ ਧਰਤੀ ਵੱਲ ਡਿੱਗ ਰਹੇ ਹੋਈਏ। ਇਸ ਲਈ ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਅੰਦਰ ਬੈਠੇ ਵਿਅਕਤੀਆਂ ਦੇ ਲਈ ਖਿਤਜੀ ਜਾਂ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਦਾ ਕੋਈ ਮਹੱਤਵ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ, ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਲਈ ਸਾਰੀਆਂ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ। ਹਵਾ ਵਿੱਚ ਤੈਰਦੇ ਪੁਲਾੜ ਯਾਤਰੀਆਂ ਦੇ ਚਿੱਤਰ ਠੀਕ ਇਸੇ ਤੱਥ ਨੂੰ ਦਰਸਾਉਂਦੇ ਹਨ।

ਸਾਰ (SUMMARY)

1. ਨਿਊਟਨ ਦਾ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦਾ ਵਿਸ਼ਵ-ਵਿਆਪੀ ਨਿਯਮ ਇਹ ਉਲੇਖ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਦੂਰੀ r ਵਾਲੇ m_1 ਅਤੇ m_2 ਪੁੰਜ ਦੇ ਕੋਈ ਦੋ ਕਣਾਂ ਵਿੱਚ ਲੱਗੇ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲਾਂ ਦਾ ਪਰਿਮਾਣ

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ਜਿੱਥੇ G ਵਿਸ਼ਵ-ਵਿਆਪੀ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਮਾਨ 6.672×10^{-11} N m^2 kg^{-2} ਹੈ।

2. ਜੇ ਅਸੀਂ M_1, M_2, ...M_n ਆਦਿ ਬਹੁਤ ਸਾਰੇ ਕਣਾਂ ਦੇ ਕਾਰਨ m ਪੁੰਜ ਦੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਤੇ ਲਗੇ ਪਰਿਣਾਮੀ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਦਾ ਪਤਾ ਕਰਨਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਇਸਦੇ ਲਈ ਸੁਪਰਪੋਜੀਸ਼ਨ ਸਿਧਾਂਤ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਮੰਨ ਲਓ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ M_1, M_2, ...M_n ਹਰੇਕ ਦੁਆਰਾ m ਤੇ ਲੱਗੇ ਇਕੱਲੇ-ਇਕੱਲੇ ਬਲ $\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$, ...$\mathbf{F}_n$ ਹਨ, ਤਾਂ ਬਲਾਂ ਦੇ ਸੁਪਰਪੋਜੀਸ਼ਨ ਸਿਧਾਂਤ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਹਰੇਕ ਬਲ ਹੋਰ ਪਿੰਡਾਂ ਦੁਆਰਾ ਪ੍ਰਭਾਵਿਤ ਹੋਏ ਬਿਨਾਂ ਸੁਤੰਤਰਤਾ ਨਾਲ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਤਦ ਇਹਨਾਂ ਦਾ ਪਰਿਣਾਮੀ ਬਲ $\boldsymbol{F}_n$ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਦੇ ਜੋੜ ਦੁਆਰਾ ਗਿਆਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \ldots\ldots + \boldsymbol{F}_n = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{F}_i$$

ਜਿੱਥੇ ਪ੍ਰਤੀਕ Σ ਜੋੜ ਨੂੰ ਦਰਸਾਉਂਦਾ ਹੈ।

3. ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਗ੍ਰਹਿ ਗਤੀ ਨਿਯਮ ਇਹ ਸਪੱਸ਼ਟ ਕਰਦੇ ਹਨ ਕਿ –
   (a) ਸਾਰੇ ਗ੍ਰਹਿ ਇਲਿਪਸੀ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਗਤੀ ਕਰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸੂਰਜ ਇਹਨਾਂ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਦੇ ਕਿਸੇ ਫੋਕਸ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।
   (b) ਸੂਰਜ ਤੋਂ ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਤੱਕ ਖਿੱਚਿਆ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਸਦਿਸ਼, ਬਰਾਬਰ ਸਮੇਂ ਅੰਤਰਾਲਾਂ ਵਿੱਚ ਬਰਾਬਰ ਖੇਤਰਫਲ ਬੁਹਾਰਦਾ (sweep out) ਹੈ। ਇਹ ਇਸ ਤੱਥ ਦਾ ਪਾਲਨ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਕੇਂਦਰੀ ਹਨ। ਇਸ ਲਈ ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਸਥਿਰ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ।
   (c) ਕਿਸੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਚੱਕਰ ਲਗਾਉਣ ਵਾਲੇ ਆਵਰਤ ਕਾਲ ਦਾ ਵਰਗ ਉਸ ਦੇ ਇਲਪਸੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ ਅਰਧ ਵੱਡੇ ਧੁਰੇ ਦੇ ਘਣ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

   ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ R ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਵਾਲੀ ਕਕਸ਼ਾ (orbit) ਵਿੱਚ ਚੱਕਰ ਲਗਾ ਰਹੇ ਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਆਵਰਤ ਕਾਲ T ਅਤੇ ਕਕਸ਼ਾ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ R ਵਿੱਚ ਇਹ ਸੰਬੰਧ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{G\,M_s}\right)R^3$$

   ਜਿੱਥੇ M_S ਸੂਰਜ ਦਾ ਪੁੰਜ ਹੈ। ਵਧੇਰੇ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀਆਂ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰ ਅਕਾਰ ਦੀਆਂ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਹਨ। ਇਲਿਪਸੀ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਲਈ ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨ ਵਿੱਚ R ਦੀ ਥਾਂ ਤੇ ਅਰਧ ਵੱਡੇ ਧੁਰੇ ਦਾ ਮਾਨ a ਰਖ ਦਿੱਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

4. **ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ**
   (*a*) ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ h ਉਚਾਈ ਤੇ

$$g(h) = \frac{G\,M_E}{(R_E + h)^2}$$

$$\approx \frac{G\,M_E}{R_E^2}\left(1 - \frac{2h}{R_E}\right) \quad h << R_E$$

$$g(h) = g(0)\left[1 - \frac{2h}{R_E}\right] \text{ ਜਿੱਥੇ } g(0) = \frac{GM_E}{R^2{}_E}$$

   (*b*) ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ d ਡੂੰਘਾਈ ਤੇ

$$g(d) = \frac{G\,M_E}{R_E^2}\left(1 - \frac{d}{R_E}\right) = g(0)\left(1 - \frac{d}{R_E}\right)$$

5. ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਕਿਸੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਫਲਨ ਨੂੰ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। r ਦੂਰੀ ਦੇ ਕੋਈ ਦੋ ਕਣਾਂ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ

$$V = -\frac{G\,m_1\,m_2}{r}$$

   ਜਿੱਥੇ $r \to \infty$ ਤੇ V ਨੂੰ ਜ਼ੀਰੋ ਮੰਨਿਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਕਣਾਂ ਦੇ ਕਿਸੇ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਉਹਨਾਂ ਕਣਾਂ ਦੇ ਸਾਰੇ ਜੋੜਿਆਂ ਦੀਆਂ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਜੋੜ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਿਸ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਜੋੜੇ ਨੂੰ ਉਪਰੋਕਤ ਦੱਸੇ ਸੂਤਰ ਅਨੁਸਾਰ ਦਰਸਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਦਾ ਨਿਰਧਾਰਨ ਸੁਪਰਪੋਜੀਸ਼ਨ ਸਿਧਾਂਤ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

6. ਜੇ ਕਿਸੇ ਅਲੱਗ-ਅਲੱਗ ਸਿਸਟਮ ਵਿੱਚ m ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਕਣ ਕਿਸੇ ਭਾਰੀ ਪਿੰਡ, ਜਿਸਦਾ M ਪੁੰਜ ਹੈ, ਦੇ ਨੇੜੇ v ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀਮਾਨ ਹੈ, ਤਾਂ ਉਸ ਕਣ ਦੀ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ

$$E = \frac{1}{2}m\,v^2 - \frac{G\,M\,m}{r}$$

ਅਰਥਾਤ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ, ਗਤਿਜ ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਜੋੜ ਹੈ। ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ, ਗਤੀ ਦਾ ਇੱਕ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

7. ਜੇ m ਪੁੰਜ, M $(M >> m)$ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ a ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਵਾਲੇ ਚੱਕਰ ਵਿੱਚ ਚੱਕਰ ਲਗਾ ਰਿਹਾ ਹੈ ਤਾਂ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ

$$E = -\frac{G\,M\,m}{2a}$$

ਇਹ ਉਪਰੋਕਤ ਬਿੰਦੂ 5 ਵਿੱਚ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਆਪਣੀ ਮਰਜ਼ੀ ਨਾਲ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਦੀ ਚੋਣ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਵੀ ਸਿਸਟਮ ਜੋ ਕਿ ਬੰਧਣ ਯੁਕਤ ਹੈ, ਅਰਥਾਤ, ਅਜਿਹਾ ਸਿਸਟਮ ਜਿਸ ਵਿੱਚ ਆਰਬਿਟ ਬੰਦ ਹੋਵੇ ਜਿਵੇਂ ਇਲਿਪਸ ਅਕਾਰ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ, ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਗਤਿਜ ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਹਨ –

$$K = \frac{G\,M\,m}{2a}$$

$$V = -\frac{G\,M\,m}{a}$$

8. ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਪਲਾਇਨ ਚਾਲ

$$v_e = \sqrt{\frac{2\,G\,M_E}{R_E}} = \sqrt{2gR_E}$$

ਇਸਦਾ ਮਾਨ 11.2 km s^{-1} ਹੈ।

9. ਜੇ ਕੋਈ ਕਣ ਕਿਸੇ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਗੋਲ ਖੋਲ ਜਾਂ ਗੋਲ ਸਮਮਿਤ ਠੋਸ ਗੋਲਾ ਜਿਸ ਅੰਦਰ ਪੁੰਜ ਦੀ ਵੰਡ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਹੈ, ਦੇ ਬਾਹਰ ਹੈ ਤਾਂ ਗੋਲਾ ਕਣ ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਆਕਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਉਸ ਗੋਲੇ ਜਾਂ ਖੋਲ ਦਾ ਸਾਰੇ ਦਾ ਸਾਰਾ ਪੁੰਜ ਉਸਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਹੋਇਆ ਹੋਵੇ।

10. ਜੇ ਕੋਈ ਕਣ ਕਿਸੇ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਗੋਲ ਖੋਲ ਦੇ ਅੰਦਰ ਹੈ ਤਾਂ ਉਸ ਕਣ ਤੇ ਲਗਾ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ। ਜੇ ਕੋਈ ਕਣ ਕਿਸੇ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਪੁੰਜ ਵੰਡ ਵਾਲੇ ਠੋਸ ਗੋਲੇ ਦੇ ਅੰਦਰ ਹੈ, ਤਾਂ ਕਣ ਤੇ ਲਗਾ ਬਲ ਗੋਲੇ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਬਲ ਕਣ ਤੋਂ ਗੋਲੇ ਦੇ ਅੰਦਰ ਵਾਲੇ ਪੁੰਜ ਦੁਆਰਾ ਲਗਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

11. ਜੀਓਸਟੇਸ਼ਨਰੀ (ਭੂਮੀ ਤੁਲਕਾਲੀ ਸੰਚਾਰ, geosynchronous communication) ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਭੂ-ਮੱਧਰੇਖੀ ਤਲ (equitorial plane) ਵਿੱਚ, ਚੱਕਰ ਆਕਾਰ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ, ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਲਗਭਗ 4.22×10^4 km ਦੂਰੀ ਤੇ ਗਤੀ ਕਰਦੇ ਹਨ।

ਭੌਤਿਕ ਰਾਸ਼ੀ	ਪ੍ਰਤੀਕ	ਵਿਮਾਂ	ਮਾਤਰਕ	ਟਿੱਪਣੀ
ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਰ ਅੰਕ	G	$[M^{-1}L^3\,T^{-2}]$	Nm^2kg^{-2}SK	6.67×10^{-11}
ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ	V(r)	$[ML^2\,T^{-2}]$	J	$-\frac{GMm}{r}$ (ਅਦਿਸ਼)
ਗੁਰੂਤਾ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ	U(r)	$[L^2\,T^{-2}]$	Jkg^{-1}	$-\frac{GM}{r}$ (ਅਦਿਸ਼)
ਗੁਰੂਤਾ ਤੀਬਰਤਾ	**E** ਅਤੇ **g**	$[LT^{-2}]$	ms^{-2}	$\frac{GM}{r^2}\hat{r}$ (ਸਦਿਸ਼)

ਵਿਚਾਰਨਯੋਗ ਵਿਸ਼ੇ (Points to ponder)

1. ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਕਿਸੇ ਹੋਰ ਪਿੰਡ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਭਾਵ ਦੇ ਅੰਤਰਗਤ ਗਤੀ ਦਾ ਅਧਿਐਨ ਕਰਦੇ ਸਮੇਂ ਹੇਠ ਲਿਖੀਆਂ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦੀਆਂ ਹਨ।

   (a) ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ

   (b) ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ

   ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ ਦਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ **ਨਹੀਂ** ਹੁੰਦਾ

2. ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦੀ ਅਗਵਾਈ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਪਰ ਇਹ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਦੇ ਉਲਟ ਵਰਗ ਨਿਯਮ ਦੇ ਲਈ ਹੀ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ਤਾ ਨਹੀਂ ਰੱਖਦਾ। ਇਹ ਕਿਸੇ ਵੀ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਤੇ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

3. ਕੇਪਲਰ ਦੇ ਤੀਸਰੇ ਨਿਯਮ, $T^2 = K_S R^3$ ਵਿੱਚ ਸਥਿਰ ਅੰਕ K_S ਚੱਕਰਾਕਾਰ ਦੀਆਂ ਕਕਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਗਤੀ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਹਰੇਕ ਗ੍ਰਹਿ ਦੇ ਲਈ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰ ਲਗਾਉਂਦੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿਆਂ ਤੇ ਵੀ ਇਹੀ ਟਿੱਪਣੀ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। (ਸਮੀਕਰਨ 8.38)

4. ਪੁਲਾੜ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਵਿੱਚ ਪੁਲਾੜ ਯਾਤਰੀ ਭਾਰਹੀਨਤਾ ਮਹਿਸੂਸ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਇਸਦਾ ਕਾਰਨ ਇਹ ਨਹੀਂ ਹੈ ਕਿ ਪੁਲਾੜ ਦੀ ਉਸ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਘੱਟ ਹੈ। ਬਲਕਿ ਇਸਦਾ ਕਾਰਨ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਪੁਲਾੜ ਯਾਤਰੀ ਅਤੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੋਵੇਂ ਹੀ ਧਰਤੀ ਵੱਲ ਸੁਤੰਤਰਤਾ ਨਾਲ ਡਿਗਦੇ ਹਨ।

5. ਦੂਰੀ R ਦੇ ਵਖਰੇਵੇਂ ਵਾਲੇ ਦੋ ਬਿੰਦੂਆਂ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ

$$V = \frac{Gm_1m_2}{r} + \text{ਸਥਿਰ ਅੰਕ}$$

   ਇੱਥੇ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਨੂੰ ਕੁਝ ਮਾਨ ਦਿੱਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ ਜ਼ੀਰੋ ਮੰਨਣਾ ਸਰਲ ਚੁਣਾਵ ਹੈ। ਇਸ ਚੋਣ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ

$$V = -\frac{Gm_1m_2}{r}$$

   ਇਸ ਚੋਣ ਤੋਂ ਆਪਣੇ ਆਪ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਜਦੋਂ $r \to \infty$ ਤਾਂ $V \to 0$ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਗੁਰੂਤਾ ਊਰਜਾ ਦੇ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਣ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਦੀ ਚੋਣ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਮਨਮਰਜ਼ੀ ਨਾਲ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਦੀ ਚੋਣ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੀ ਹੈ। ਧਿਆਨ ਦਿਓ, ਇਸ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਦੇ ਚੋਣ ਨਾਲ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ।

6. ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਇਸਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ (ਜੋ ਸਦਾ ਧਨਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ) ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਜੋੜ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਅਨੰਤ ਦੇ ਸਾਪੇਖ (ਜਾਂ, ਇਹ ਮੰਨ ਲਉ ਕਿ ਪਿੰਡ ਦੀ ਅਨੰਤ ਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ), ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

7. ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਲਈ ਆਮ ਕਰਕੇ ਦਿਖਾਈ ਦੇਣ ਵਾਲਾ ਵਿਅੰਜਕ mgh ਅਸਲ ਵਿੱਚ, ਉੱਪਰ ਬਿੰਦੂ 6 ਦੇ ਅੰਤਰਗਤ ਸਪਸ਼ਟ ਕੀਤੇ ਅਨੁਸਾਰ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦੇ ਅੰਤਰ ਦਾ ਨੇੜਲਾ ਮਾਨ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

8. ਜਦੋਂ ਕਿ ਦੋ ਬਿੰਦੂਆਂ ਦੇ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਕੇਂਦਰੀ ਹੈ, ਬਲਕਿ ਦੋ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਸਾਈਜ ਦੇ ਦ੍ਰਿੜ ਪਿੰਡਾਂ ਵਿੱਚ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਬਲਾਂ ਦਾ ਇਹਨਾਂ ਦੋਨੋਂ ਪੁੰਜਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਨੂੰ ਮਿਲਾਉਣ ਵਾਲੀ ਰੇਖਾ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋਣਾ ਜ਼ਰੂਰੀ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਗੋਲ ਸਮਮਿਤ ਪਿੰਡ ਦੇ ਲਈ ਉਸ ਪਿੰਡ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਸਥਿਤ ਕਿਸੇ ਕਣ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਲਗਦਾ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਪਿੰਡ ਦਾ ਸਾਰਾ ਪੁੰਜ ਉਸਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਕੇਂਦਰਿਤ ਹੋਵੇ ਅਤੇ ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਬਲ ਕੇਂਦਰੀ ਬਲ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

9. ਗੋਲ ਖੋਲ ਦੇ ਅੰਦਰ ਕਿਸੇ ਕਣ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਐਪਰ, (ਕਿਸੇ ਧਾਤ ਦੇ ਖੋਲ ਦੇ ਉਲਟ, ਜੋ ਬਿਜਲੀ ਬਲਾਂ ਤੋਂ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰੱਖਦਾ ਹੈ) ਇਹ ਖੋਲ ਆਪਣੇ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਸਥਿਤ ਦੂਸਰੇ ਪਿੰਡਾਂ ਨੂੰ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲਾਂ ਨੂੰ ਲਗਾਉਣ ਤੋਂ ਆਪਣੇ ਅੰਦਰ ਸਥਿਤ ਕਣਾਂ ਦੀ ਸੁਰੱਖਿਆ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ। ਗੁਰੂਤਾ ਤੋਂ ਸੁਰੱਖਿਆ ਸੰਭਵ ਨਹੀਂ ਹੈ।

ਅਭਿਆਸ (EXERCISE)

8.1 ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਦੇ ਉੱਤਰ ਦਿਓ।

(a) ਤੁਸੀਂ ਕਿਸੇ ਚਾਰਜ ਦਾ ਬਿਜਲਈ ਬਲਾਂ ਤੋਂ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਉਸ ਚਾਰਜ ਨੂੰ ਕਿਸੇ ਖੋਖਲੇ ਚਾਲਕ ਦੇ ਅੰਦਰ ਰੱਖ ਕੇ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹੋ। ਕੀ ਤੁਸੀਂ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ, ਨੇੜੇ ਰੱਖੇ ਪਦਾਰਥ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਭਾਵ ਤੋਂ, ਉਸ ਨੂੰ ਖੋਖਲੇ ਗੋਲੇ ਵਿੱਚ ਰੱਖ ਕੇ ਜਾਂ ਕਿਸੇ ਹੋਰ ਸਾਧਨਾਂ ਦੁਆਰਾ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹੋ।

(b) ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰ ਲਗਾਉਣ ਵਾਲੇ ਛੋਟੇ ਪੁਲਾੜ ਜਹਾਜ਼ (space ship) ਵਿੱਚ ਬੈਠਾ ਕੋਈ ਪੁਲਾੜ ਯਾਤਰੀ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦਾ ਸੂਹ (detection) ਨਹੀਂ ਲੈ ਸਕਦਾ। ਜੇ ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੱਕਰ ਲਗਾਉਣ ਵਾਲਾ ਪੁਲਾੜ ਸਟੇਸ਼ਨ ਵੱਡਾ ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਕੀ ਉਹ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੀ ਸੂਹ ਦੀ ਆਸ਼ਾ ਕਰ ਸਕਦਾ ਹੈ।

(c) ਜੇ ਤੁਸੀਂ ਧਰਤੀ ਤੇ ਸੂਰਜ ਦੇ ਕਾਰਨ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਧਰਤੀ ਤੇ ਚੰਨ ਦੇ ਕਾਰਨ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਨਾਲ ਕਰੀਏ, ਤਾਂ ਤੁਹਾਨੂੰ ਇਹ ਪਤਾ ਲੱਗੇਗਾ ਕਿ ਸੂਰਜ ਦੀ ਖਿੱਚ ਚੰਨ ਦੀ ਖਿੱਚ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੈ (ਇਸਦੀ ਜਾਂਚ ਤੁਸੀਂ ਖੁਦ ਆਉਣ ਵਾਲੇ ਅਭਿਆਸ ਵਿੱਚ ਦਿੱਤੇ ਅੰਕੜਿਆਂ ਦੀ ਸਹਾਇਤਾ ਨਾਲ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹੋ) ਪਰ ਚੰਨ ਦੀ ਖਿੱਚ ਦਾ ਜਵਾਰੀ ਪ੍ਰਭਾਵ ਸੂਰਜ ਦੇ ਜਵਾਰੀ ਪ੍ਰਭਾਵ (tidal effect) ਤੋਂ ਵਧ ਹੈ। ਕਿਉਂ ?

8.2 ਸਹੀ ਵਿਕਲਪ ਚੁਣੋ -

(a) ਵੱਧਦੀ ਉਚਾਈ ਨਾਲ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਵਧਦਾ/ਘਟਦਾ ਹੈ।

(b) ਵੱਧਦੀ ਡੂੰਘਾਈ ਦੇ ਨਾਲ (ਧਰਤੀ ਨੂੰ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਘਣਤਾ ਦਾ ਗੋਲਾ ਮੰਨ ਕੇ) ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਵਧਦਾ/ਘਟਦਾ ਹੈ।

(c) ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਵੇਗ ਧਰਤੀ ਦੇ ਪੁੰਜ/ਪਿੰਡ ਦੇ ਪੁੰਜ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ।

(d) ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ r_2 ਅਤੇ r_1 ਦੂਰੀਆਂ ਦੇ ਦੋ ਬਿੰਦੂਆਂ ਵਿੱਚ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅੰਤਰ ਦੇ ਲਈ ਸੂਤਰ $-G\,Mm(1/r_2 - 1/r_1)$ ਸੂਤਰ $mg(r_2 - r_1)$ ਤੋਂ ਵੱਧ/ਘੱਟ ਯਥਾਰਥਕ ਹੈ।

8.3 ਮੰਨ ਲਓ ਇੱਕ ਅਜਿਹਾ ਗ੍ਰਹਿ ਹੈ ਜੋ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਧਰਤੀ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਦੋ ਗੁਣੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀ ਕਰਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਇਸਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦਾ ਸਾਈਜ਼ ਕੀ ਹੈ ?

8.4 ਬ੍ਰਹਿਸਪਤੀ ਦੇ ਇੱਕ ਉਪਗ੍ਰਹਿ, ਆਓ (Io) ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਅਵਧੀ (orbital period) 1.769 ਦਿਨ ਹੈ ਅਤੇ ਕਕਸ਼ਾ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ 4.22×10^8 m ਹੈ। ਇਹ ਦਰਸਾਓ ਕਿ ਬ੍ਰਹਿਸਪਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ ਸੂਰਜ ਦੇ ਪੁੰਜ ਦਾ ਲਗਭਗ 1/1000 ਗੁਣਾ ਹੈ।

8.5 ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਸਾਡੀ ਅਕਾਸ਼ ਗੰਗਾ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਸੌਰ ਪੁੰਜ ਦੇ 2.5×10^{11} ਤਾਰੇ ਹਨ। ਅਕਾਸ਼ ਗੰਗਾ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ 50,000 ly ਦੂਰੀ ਤੇ ਸਥਿਤ ਕੋਈ ਤਾਰਾ ਆਪਣੀ ਇੱਕ ਪ੍ਰਿਕਰਮਾ ਪੂਰੀ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਕਿੰਨਾ ਸਮਾਂ ਲਵੇਗਾ। ਅਕਾਸ਼ ਗੰਗਾ ਦਾ ਵਿਆਸ 10^5 ly ਲਉ।

8.6 ਸਹੀ ਵਿਕਲਪ ਚੁਣੋ -

(a) ਜੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਅਨੰਤ ਤੇ ਮਾਨ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇ, ਤਾਂ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਘੁੰਮਦੇ ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਇਸਦੀ ਗਤਿਜ/ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੈ।

(b) ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਘੁੰਮਦੇ ਕਿਸੇ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਨੂੰ ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਭਾਵ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਕੱਢਣ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਊਰਜਾ ਬਰਾਬਰ ਉਚਾਈ (ਜਿੰਨੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ) ਦੇ ਕਿਸੇ ਸਥਿਰ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਸਰ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਪ੍ਰਖੇਪਿਤ ਕਰਨ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਊਰਜਾ ਤੋਂ ਵੱਧ/ਘੱਟ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

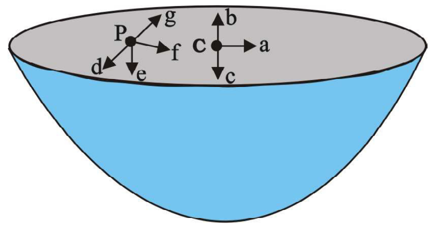
8.7 ਕੀ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਪਲਾਇਨ ਚਾਲ (a) ਪਿੰਡ ਦੇ ਪੁੰਜ (b) ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਬਿੰਦੂ ਦੀ ਸਥਿਤੀ (c) ਪ੍ਰਖੇਪਣ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ, (d) ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਪ੍ਰਖੇਪਿਤ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਬਿੰਦੂ ਦੀ ਉਚਾਈ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦੀ ਹੈ।

8.8 ਇੱਕ ਪੁੱਛਲ ਤਾਰਾ ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਇੱਕ ਬਹੁਤ ਹੀ ਵੱਧ ਇਲਿਪਸੀ ਅਕਾਰ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਘੁੰਮ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਕੀ ਪੂਛਲ ਤਾਰੇ ਲਈ ਸਥਿਰ ਹੋਵੇਗਾ (a) ਰੇਖੀ ਚਾਲ (b) ਕੋਣੀ ਚਾਲ (c) ਕੋਣੀ ਸੰਵੇਗ (d) ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ (e) ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ (f) ਇਸ ਦੇ ਸਾਰੇ ਗ੍ਰਹਿ-ਪਥ ਵਿੱਚ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ? ਪੂਛਲ ਤਾਰੇ ਦੇ ਪੁੰਜ ਵਿੱਚ ਹੋਈ ਕੋਈ ਵੀ ਪੁੰਜ ਹਾਨੀ ਜਦੋਂ ਇਹ ਸੂਰਜ ਦੇ ਨੇੜੇ ਤੋਂ ਲੰਘਦਾ ਹੈ ਨੂੰ ਨਕਾਰ ਦਿਓ।

8.9 ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਵਿੱਚੋਂ ਕਿਹੜੇ ਲੱਛਣ ਪੁਲਾੜ ਵਿੱਚ ਪੁਲਾੜ ਯਾਤਰੀ ਦੇ ਲਈ ਦੁੱਖ ਦੇਣ ਵਾਲੇ ਹੋ ਸਕਦੇ ਹਨ ? (a) ਪੈਰਾਂ ਵਿੱਚ ਸੋਜ (b) ਚਿਹਰੇ ਤੇ ਸੋਜ (c) ਸਿਰਦਰਦ (d) ਓਰੀਐਂਟੇਸ਼ਨਲ (orientational) ਸਮੱਸਿਆ

8.10 ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਪੁੰਜ ਘਣਤਾ ਵਾਲੇ ਅਰਧ ਗੋਲਾਕਾਰ ਖੋਲ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਤੀਬਰਤਾ (gravitational intensity) ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਜਿਵੇਂ ਤੀਰਾਂ ਦੁਆਰਾ ਦਿਖਾਈ ਗਈ ਹੈ (ਦੇਖੋ ਚਿੱਤਰ 8.12), ਵਿੱਚੋਂ ਕਿਹੜੀ ਠੀਕ ਹੈ –

(i) a, (ii) b, (iii) c, (iv) 0



ਚਿੱਤਰ 8.12

8.11 ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੱਸਿਆ ਵਿੱਚ ਕਿਸੇ ਮਨਮਰਜ਼ੀ ਨਾਲ ਲਏ ਬਿੰਦੂ P ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਤੀਬਰਤਾ ਕਿਸ ਤੀਰ (i) d, (ii) e, (iii) f, (iv) g ਦੁਆਰਾ ਦਰਸਾਈ ਜਾਵੇਗੀ ?

8.12 ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਕਿਸੇ ਰੱਕੇਟ ਨੂੰ ਸੂਰਜ ਵੱਲ ਦਾਗਿਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਤੋਂ ਕਿਸ ਦੂਰੀ ਤੇ ਰੱਕੇਟ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ ? ਸੂਰਜ ਦਾ ਪੁੰਜ = 2×10^{30} kg, ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ = 6×10^{24} kg ਹੈ।

ਹੋਰ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਆਦਿ ਦੇ ਪ੍ਰਭਾਵ ਦੀ ਉਪੇਖਿਆ ਕਰੋ। (ਆਰਬਿਟ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 1.5×10^{11} m)

8.13 ਤੁਸੀਂ ਸੂਰਜ ਨੂੰ ਕਿਵੇਂ ਤੋਲੋਗੇ, ਅਰਥਾਤ ਉਸਦੇ ਪੁੰਜ ਦਾ ਅੰਦਾਜਾ ਕਿਵੇਂ ਲਗਾਓਗੇ ? ਸੂਰਜ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਧਰਤੀ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦਾ ਔਸਤ ਅਰਧ ਵਿਆਸ 1.5×10^{8} km ਹੈ।

8.14 ਇੱਕ ਸ਼ਨੀ ਵਰ੍ਹਾ ਇੱਕ ਧਰਤੀ ਵਰ੍ਹੇ ਦਾ 29.5 ਗੁਣਾ ਹੈ। ਜੇ ਧਰਤੀ ਸੂਰਜ ਤੋਂ 1.5×10^{8} km ਦੂਰ ਹੈ ਤਾਂ ਸ਼ਨੀ ਸੂਰਜ ਤੋਂ ਕਿੰਨਾ ਦੂਰ ਹੈ।

8.15 ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਦਾ ਭਾਰ 63 N ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੀ ਅੱਧੀ ਉਚਾਈ ਤੇ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕਾਰਨ ਇਸ ਵਸਤੂ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਕਿੰਨ੍ਹਾ ਹੈ ?

8.16 ਇਹ ਮੰਨਦੇ ਹੋਏ ਕਿ ਧਰਤੀ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਘਣਤਾ ਦਾ ਇੱਕ ਗੋਲਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਦਾ ਭਾਰ 250 N ਹੈ, ਇਹ ਪਤਾ ਕਰੋ ਕਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ ਅੱਧੀ ਦੂਰੀ ਤੇ ਇਸ ਵਸਤੂ ਦਾ ਭਾਰ ਕੀ ਹੋਵੇਗਾ ?

8.17 ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਉੱਪਰ ਵੱਲ ਕੋਈ ਰੱਕੇਟ 5 km s^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਦਾਗਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਤੇ ਵਾਪਸ ਪਰਤਨ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਰੱਕੇਟ ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਕਿੰਨੀ ਦੂਰੀ ਤੱਕ ਜਾਵੇਗਾ ? ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ = 6.0×10^{24} kg ਧਰਤੀ ਦਾ ਔਸਤ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 6.4×10^{6} m ਅਤੇ $G = 6.67\times10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}

8.18 ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਕਿਸੇ ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਦੀ ਪਲਾਇਨ ਗਤੀ 11.2 km s^{-1} ਹੈ। ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਨੂੰ ਇਸ ਚਾਲ ਦੀ ਤਿੰਨ ਗੁਣੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਪ੍ਰਖੇਪਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਤੋਂ ਵੱਧ ਤੋਂ ਵੱਧ ਦੂਰ ਜਾਣ ਤੇ ਇਸ ਦੀ ਚਾਲ ਕਿੰਨੀ ਹੋਵੇਗੀ ? ਸੂਰਜ ਅਤੇ ਹੋਰ ਗ੍ਰਹਿਆਂ ਦੀ ਉਪਸਥਿਤੀ ਦੀ ਉਪੇਖਿਆ ਕਰੋ।

8.19 ਕੋਈ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ 400 km ਉਚਾਈ ਤੇ ਧਰਤੀ ਦੇ ਆਲੇ-ਦੁਆਲੇ ਚੱਕਰ ਲਗਾ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਇਸ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਨੂੰ ਧਰਤੀ ਦੇ ਗੁਰੂਤਾ ਪ੍ਰਭਾਵ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਕੱਢਣ ਵਿੱਚ ਕਿੰਨੀ ਊਰਜਾ ਖ਼ਰਚ ਹੋਵੇਗੀ ? ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦਾ ਪੁੰਜ = 200 kg ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ = 6.0×10^{24} kg ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 6.4×10^{6} m; $G = 6.67\times10^{-11}$ N m^2 kg^{-2} ।

8.20 ਦੋ ਤਾਰੇ, ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਦਾ ਪੁੰਜ ਸੂਰਜ ਦੇ ਪੁੰਜ (2×10^{30} kg) ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ, ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਵੱਲ ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ ਦੇ ਲਈ ਵੱਧ ਰਹੇ ਹਨ। ਜਦੋਂ ਉਹ 10^{9} km ਦੂਰੀ ਤੇ ਹਨ ਤਾਂ ਇਹਨਾਂ ਦੀ ਚਾਲ ਦੀ ਉਪੇਖਿਆ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ ਹੈ। ਇਹ ਤਾਰੇ ਕਿਸ ਚਾਲ ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਣਗੇ ? ਹਰੇਕ ਤਾਰੇ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ 10^{4} km ਹੈ। ਇਹ ਮੰਨੋ ਕਿ ਟਕਰਾਉਣ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਤਾਰਿਆਂ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਰੂਪ ਵਿਗਾੜ ਨਹੀਂ ਹੋਇਆ (G ਦੇ ਗਿਆਤ ਮੂਲ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰੋ)।

8.21 ਦੋ ਭਾਰੀ ਗੋਲੇ ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਦਾ ਪੁੰਜ 100 kg ਅਰਧ ਵਿਆਸ 0.10 m ਹੈ ਕਿਸੇ ਖਿਤਜੀ ਮੇਜ਼ ਤੇ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਨਾਲ 1.0 m ਦੂਰੀ ਤੇ ਸਥਿਤ ਹੈ ਦੋਨੋਂ ਗੋਲਿਆਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਨੂੰ ਮਿਲਾਉਣ ਵਾਲੀ ਰੇਖਾ ਦੇ ਮੱਧ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਅਤੇ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ ਕੀ ਹੈ ? ਕੀ ਇਸ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਰੱਖਿਆ ਕੋਈ ਪਿੰਡ ਸੰਤੁਲਨ ਵਿੱਚ ਹੋਵੇਗਾ ? ਜੇ ਹਾਂ, ਤਾਂ ਇਹ ਸੰਤੁਲਨ ਸਥਾਈ ਹੋਵੇਗਾ ਜਾਂ ਅਸਥਾਈ।

ਵਾਧੂ ਅਭਿਆਸ (ADDITIONAL EXERCISES)

8.22 ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਤੁਸੀਂ ਇਸ ਪਾਠ ਵਿੱਚ ਸਿੱਖਿਆ ਹੈ ਕਿ ਕੋਈ ਜੀਓਸਟੇਸ਼ਨਰੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਲਗਭਗ 36,000 km ਉਚਾਈ ਤੇ ਧਰਤੀ ਦੀ ਪਰਿਕਰਮਾ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਨਿਰਧਾਰਿਤ ਥਾਂ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ ਕਿੰਨਾਂ ਹੈ ? (ਅਨੰਤ ਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਜ਼ੀਰੋ ਲਓ) ਧਰਤੀ ਦਾ ਪੁੰਜ = 6.0×10^{24} kg ਧਰਤੀ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 6400 km

8.23 ਸੂਰਜ ਦੇ ਪੁੰਜ ਤੋਂ 2.5 ਗੁਣਾ ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਤਾਰਾ 12 km ਸਾਈਜ਼ ਤੱਕ ਕੋਲੈਪਸ (collapse) ਕਰਕੇ, ਚਾਲ 1.2 rev./s ਨਾਲ ਘੁੰਮ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੇ ਬਹੁਤ ਹੀ ਜ਼ਿਆਦਾ ਛੋਟੇ ਤਾਰੇ ਨੂੰ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਤਾਰਾ ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਕੁਝ ਖਗੋਲੀ ਪਿੰਡ ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ ਪਲਸਾਰ (pulsar) ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਵੀ ਇਸੇ ਵਰਗ ਵਿੱਚ ਆਉਂਦੇ ਹਨ) ਇਸਦੇ ਭੂ-ਮੱਧਰੇਖੀ ਤਲ ਤੇ ਰੱਖਿਆ ਕੋਈ ਪਿੰਡ, ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ, ਕੀ ਇਸਦੀ ਸਤਹਿ ਨਾਲ ਚਿਪਕਿਆ ਰਹੇਗਾ ? ਸੂਰਜ ਦਾ ਪੁੰਜ = 2×10^{30} kg)

8.24 ਕੋਈ ਪੁਲਾੜ ਜਹਾਜ਼ ਮੰਗਲ ਤੇ ਰੁਕਿਆ ਹੋਇਆ ਹੈ। ਇਸ ਸਪੇਸਸ਼ਿਪ ਤੇ ਕਿੰਨੀ ਊਰਜਾ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਜਾਵੇ ਕਿ ਇਸ ਨੂੰ ਸੌਰ ਮੰਡਲ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਧਕੇਲਿਆ ਜਾ ਸਕੇ। ਸਪੇਸਸ਼ਿਪ ਦਾ ਪੁੰਜ = 1000 kg, ਸੂਰਜ ਦਾ ਪੁੰਜ = 2×10^{30} kg, ਮੰਗਲ ਦਾ ਪੁੰਜ = 6.4×10^{23} kg, ਮੰਗਲ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 3395 km, ਮੰਗਲ ਦੀ ਕਕਸ਼ਾ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 2.28×10^{8} km ਅਤੇ $G = 6.67 \times 10^{-11}$ $\mathrm{Nm^2\,kg^{-2}}$

8.25 ਕਿਸੇ ਰਾੱਕੇਟ ਨੂੰ ਮੰਗਲ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ 2 km s^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਉੱਪਰ ਵੱਲ ਦਾਗਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਮੰਗਲ ਦੇ ਵਾਤਾਵਰਨ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧ ਦੇ ਕਾਰਨ ਇਸਦੀ 20% ਅਰੰਭਿਕ ਊਰਜਾ ਨਸ਼ਟ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ, ਤਾਂ ਮੰਗਲ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਮੁੜ ਪਰਤਨ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਰਾੱਕੇਟ ਮੰਗਲ ਤੋਂ ਕਿੰਨੀ ਦੂਰ ਤੱਕ ਜਾਵੇਗਾ। ਮੰਗਲ ਦਾ ਪੁੰਜ = 6.4×10^{23} kg, ਮੰਗਲ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ = 3395 km ਅਤੇ $G = 6.67 \times 10^{-11}$ $\mathrm{Nm^2\,kg^{-2}}$ ।

*****