ਪਾਠ-6

ਕਾਰਜ, ਊਰਜਾ ਅਤੇ ਸ਼ਕਤੀ

(WORK, ENERGY AND POWER)

6.1 ਭੂਮਿਕਾ
6.2 ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਸੰਕਲਪਨਾ: ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ (Theorem)
6.3 ਕਾਰਜ
6.4 ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ
6.5 ਪਰਿਵਰਤੀ (variable) ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ
6.6 ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਲਈ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਥਿਊਰਮ
6.7 ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਧਾਰਨਾ
6.8 ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਦਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ (conservation)
6.9 ਕਿਸੇ ਕਮਾਨੀ (spring) ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ
6.10 ਊਰਜਾ ਦੀਆਂ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਕਿਸਮਾਂ— ਊਰਜਾ ਦੇ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦਾ ਨਿਯਮ।
6.11 ਸ਼ਕਤੀ
6.12 ਟੱਕਰਾਂ (Collisions)

ਸਾਰ
ਵਿਚਾਰਨਯੋਗ ਵਿਸ਼ੇ
ਅਭਿਆਸ
ਵਾਧੂ ਅਭਿਆਸ
ਅਨੁਲੱਗ 6.1

6.1 ਭੂਮਿਕਾ (INTRODUCTION)

'ਕਾਰਜ' (work), 'ਊਰਜਾ' (Energy) ਅਤੇ 'ਸ਼ਕਤੀ' (Power) ਪਦਾਂ (Terms) ਨੂੰ ਅਸੀਂ ਆਪਣੀ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਭਾਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਕਈ ਵਾਰ ਵਰਤੋਂ ਵਿੱਚ ਲਿਆਉਂਦੇ ਹਾਂ। ਇੱਕ ਕਿਸਾਨ ਜੋ ਖੇਤਾਂ ਵਿੱਚ ਹਲ ਚਲਾ ਰਿਹਾ ਹੈ, ਇੱਕ ਮਜ਼ਦੂਰ ਜੋ ਇੱਟਾਂ ਢੋ ਰਿਹਾ ਹੈ, ਇੱਕ ਵਿਦਿਆਰਥੀ ਜੋ ਪ੍ਰਤੀਯੋਗਿਤਾ ਇਮਤਿਹਾਨ ਲਈ ਪੜ੍ਹਾਈ ਕਰ ਰਿਹਾ ਹੈ, ਇੱਕ ਚਿੱਤਰਕਾਰ ਜੋ ਕਿ ਬਹੁਤ ਹੀ ਸੁੰਦਰ ਤਸਵੀਰ (Landscape) ਲੈਂਡਸਕੇਪ ਤਸਵੀਰ ਬਣਾ ਰਿਹਾ ਹੈ, ਇਹਨਾਂ ਸਾਰਿਆਂ ਲਈ ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਕੰਮ ਕਰ ਰਹੇ ਹਨ। ਪਰ ਭੌਤਿਕੀ ਵਿੱਚ, 'ਕਾਰਜ' ਸ਼ਬਦ ਨੇ ਇੱਕ ਨਿਸ਼ਚਿਤ (definite) ਅਤੇ ਪਰਿਸ਼ੁੱਧ (ਪ੍ਰੀਸਾਈਜ਼) (Precise) ਅਰਥ ਨੂੰ ਹੀ ਆਪਣੇ ਵਿੱਚ ਸਮੇਟਿਆ ਹੋਇਆ ਹੈ। ਕੋਈ ਵਿਅਕਤੀ ਜਿਸ ਦੀ ਕੰਮ ਕਰਨ ਦੀ ਸਮਰੱਥਾ ਦਿਨ ਵਿੱਚ 14-16 ਘੰਟੇ ਹੋਵੇ, ਉਸ ਲਈ ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਉਸ ਵਿੱਚ ਤਾਕਤ ਜਾਂ ਊਰਜਾ (stamina or energy) ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਇੱਕ ਲੜਕੀ ਜੋ ਕਿ ਲੰਬੀ ਦੂਰੀ ਦੀ ਦੌੜਾਕ ਹੈ ਉਸ ਦਾ ਨਾ ਥੱਕਣਾ ਅਤੇ ਊਰਜਾ ਦੀ ਪ੍ਰਸ਼ੰਸਾ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਊਰਜਾ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ, ਕਾਰਜ ਕਰਨ ਦੀ ਸਮਰੱਥਾ ਹੈ। ਭੌਤਿਕੀ ਵਿੱਚ ਵੀ, ਪਦ 'ਊਰਜਾ' ਕਾਰਜ ਨਾਲ ਇਸੇ ਤਰ੍ਹਾਂ ਜੁੜਿਆ ਹੋਇਆ ਹੈ, ਪਰ ਜਿਵੇਂ ਪਹਿਲਾਂ ਦੱਸਿਆ ਗਿਆ ਹੈ ਪਦ 'ਕਾਰਜ' ਨੂੰ ਬਹੁਤ ਹੀ ਪਰਿਸ਼ੁੱਧ (ਸਹੀ) (Precisely) ਢੰਗ ਵਿੱਚ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ। 'ਸ਼ਕਤੀ' ਸ਼ਬਦ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਜ਼ਿੰਦਗੀ ਵਿੱਚ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਅਰਥਾਂ ਵਿੱਚ ਕੀਤੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਕਰਾਟੇ (Karate) ਜਾਂ ਮੁੱਕੇਬਾਜ਼ੀ (Boxing) ਦੀ ਖੇਡ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਸ਼ਕਤੀਸ਼ਾਲੀ ਮੁੱਕੇ (Powerful punches) ਦੀ ਗੱਲ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਇਹਨਾਂ ਨੂੰ ਬਹੁਤ ਹੀ ਜ਼ਿਆਦਾ ਤੇਜ਼ ਚਾਲ ਨਾਲ ਮਾਰਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਅਰਥ ਕਾਫ਼ੀ ਹੱਦ ਤੱਕ ਭੌਤਿਕੀ ਵਿੱਚ 'ਸ਼ਕਤੀ' ਸ਼ਬਦ ਦੇ ਅਰਥ ਦੇ ਨੇੜੇ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਇਹ ਦੇਖਾਂਗੇ ਕਿ ਇਹਨਾਂ ਪਦਾਂ ਦੀਆਂ ਭੌਤਿਕ ਪਰਿਭਾਸ਼ਾਵਾਂ ਅਤੇ ਇਹਨਾਂ ਦੁਆਰਾ ਦਿਮਾਗ ਵਿੱਚ ਬਣੇ ਚਿੱਤਰਾਂ ਵਿੱਚ ਵੱਧ ਤੋਂ ਵੱਧ ਇਹ ਸੰਬੰਧ ਅਲਪ ਹੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਪਾਠ ਦਾ ਮੰਤਵ ਇਹਨਾਂ ਤਿੰਨ ਭੌਤਿਕ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਦੀਆਂ ਧਾਰਨਾਵਾਂ ਦਾ ਵਿਕਾਸ ਕਰਨਾ ਹੈ ਪਰ ਇਸ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਸਾਨੂੰ ਜ਼ਰੂਰੀ ਗਣਿਤਿਕ ਭਾਸ਼ਾ ਮੁੱਖ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ (vectors) ਦੇ ਅਦਿਸ਼ (scalar) ਗੁਣਨਫਲ (product) ਨੂੰ ਸਮਝਣਾ ਹੋਵੇਗਾ।

6.1.1 ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ (The Scalar Product)

ਅਸੀਂ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਪ੍ਰਯੋਗਾਂ ਬਾਰੇ ਪਾਠ 4 ਵਿੱਚ ਪੜ੍ਹ ਚੁੱਕੇ ਹਾਂ ਭੌਤਿਕ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਜਿਵੇਂ ਵਿਸਥਾਪਨ (displacement), ਵੇਗ (velocity), ਪ੍ਰਵੇਗ (acceleration), ਬਲ (force) ਆਦਿ ਸਦਿਸ਼ ਹਨ। ਅਸੀਂ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਦੇ ਜਮ੍ਹਾਂ, ਘਟਾਓ ਕਰਨ ਬਾਰੇ ਵੀ ਸਿੱਖ ਚੁੱਕੇ ਹਾਂ। ਹੁਣ ਸਾਨੂੰ ਇਹ ਜਾਣਣ ਦੀ ਲੋੜ ਹੈ ਕਿ,

ਕਿਵੇਂ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਨੂੰ ਗੁਣਾ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਨੂੰ ਗੁਣਾ ਕਰਨ ਦੀਆਂ ਦੋ ਵਿਧੀਆਂ ਹਨ। ਪਹਿਲੀ ਵਿਧੀ ਵਿੱਚ ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ (product) ਤੋਂ ਅਦਿਸ਼ ਉੱਤਰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਇਸ ਨੂੰ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ (scalar product) ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਦੂਸਰੀ ਵਿਧੀ ਵਿੱਚ ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ ਤੋਂ ਇੱਕ ਸਦਿਸ਼ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸ ਨੂੰ ਸਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ (vector product) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਸਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਦੇ ਬਾਰੇ ਅਸੀਂ ਪਾਠ 7 ਵਿੱਚ ਪੜ੍ਹਾਂਗੇ। ਇਸ ਪਾਠ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਲੋਕ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ (scalar product) ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਚਰਚਾ ਕਰਾਂਗੇ। ਕੋਈ ਵੀ ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ **A** ਅਤੇ **B** ਦੇ ਅਦਿਸ਼ ਜਾਂ ਬਿੰਦੂ ਗੁਣਨਫਲ (scalar or dot product) ਨੂੰ ਅਸੀਂ **A.B** (**A** ਡਾਟ **B**) ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਲਿਖਦੇ ਹਾਂ ਅਤੇ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਪ੍ਰਕਾਰ ਨਾਲ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ—

$$\mathbf{A.B} = A\,B\cos\theta \qquad (6.1a)$$

ਇੱਥੇ θ ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ **A** ਅਤੇ **B** ਵਿਚਲਾ ਕੋਣ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ ਚਿੱਤਰ 6.1(a). ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਕਿਉਂਕਿ A, B ਅਤੇ cos θ ਅਦਿਸ਼ ਹਨ, ਇਸ ਲਈ **A** ਅਤੇ **B** ਦਾ ਬਿੰਦੂ ਗੁਣਨਫਲ (dot product) ਅਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ। ਹਰੇਕ ਸਦਿਸ਼ **A** ਅਤੇ **B** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਹੈ।

ਪਰ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਦੀ ਕੋਈ ਦਿਸ਼ਾ ਨਹੀਂ ਹੈ।

ਸਮੀਕਰਨ 6.1(a) ਤੋਂ

$$\mathbf{A.B} = A\,(B\cos\theta)$$
$$= B\,(A\cos\theta)$$

ਜਿਉਮੈਟਰੀ (Geometrically) ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ, B cos θ **B** ਦੀ **A** ਤੇ ਪ੍ਰੋਜੈਕਸ਼ਨ (Projection) ਹੈ, [ਚਿੱਤਰ 6.1 (b)] ਅਤੇ A cos θ, **A** ਦੀ **B** ਤੇ ਪ੍ਰੋਜੈਕਸ਼ਨ ਹੈ [ਚਿੱਤਰ 6.1 (c)] ਇਸ ਲਈ **A.B** ਸਦਿਸ਼ **A** ਦੇ ਪਰਿਮਾਣ (magnitude) ਅਤੇ ਸਦਿਸ਼ **A** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ **B** ਦੇ ਘਟਕ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਦੂਸਰੇ ਢੰਗ ਨਾਲ ਇਹ ਸਦਿਸ਼ **B** ਦੇ ਪਰਿਮਾਣ (magnitude) ਅਤੇ ਸਦਿਸ਼ **A** ਦਾ ਸਦਿਸ਼ **B** ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਘਟਕ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

ਸਮੀਕਰਨ 6.1(a) ਤੋਂ ਇਹ ਸੰਕੇਤ ਵੀ ਮਿਲਦਾ ਹੈ ਕਿ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਕ੍ਰਮ-ਵਟਾਂਦਰਾ ਨਿਯਮ (commutative law) ਦਾ ਪਾਲਣ ਕਰਦਾ ਹੈ—

$$\mathbf{A.B} = \mathbf{B.A}$$

ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ **ਵਿਤਰਣ ਨਿਯਮ** (distributive law) ਦਾ ਵੀ ਪਾਲਣ ਕਰਦਾ ਹੈ—

$$\mathbf{A.}\,(\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{A.B} + \mathbf{A.C}$$

ਅਤੇ $$\mathbf{A.}\,(\lambda\,\mathbf{B}) = \lambda\,(\mathbf{A.B})$$

ਇੱਥੇ λ ਇੱਕ ਵਾਸਤਵਿਕ ਸੰਖਿਆ (Real number) ਹੈ।

ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨਾਂ ਦੀ ਵਿਉਤਪਤੀ ਤੁਹਾਡੇ ਲਈ ਅਭਿਆਸ ਦੇ ਤੌਰ 'ਤੇ ਛੱਡੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਏਕਾਂਕ ਸਦਿਸ਼ਾਂ (unit vectors) $\hat{\mathbf{i}}, \hat{\mathbf{j}}, \hat{\mathbf{k}}$ ਦਾ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਕੱਢਾਂਗੇ। ਕਿਉਂਕਿ ਇਹ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਦੇ ਲੰਬ (perpendicular) ਹੁੰਦੇ ਹਨ, ਇਸ ਲਈ

$$\hat{\mathbf{i}}.\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}.\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}.\hat{\mathbf{k}} = 1$$
$$\hat{\mathbf{i}}.\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{j}}.\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{k}}.\hat{\mathbf{i}} = 0$$

ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ

$$\mathbf{A} = A_x\hat{\mathbf{i}} + A_y\hat{\mathbf{j}} + A_z\hat{\mathbf{k}}$$
$$\mathbf{B} = B_x\hat{\mathbf{i}} + B_y\hat{\mathbf{j}} + B_z\hat{\mathbf{k}}$$

ਦਾ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਹੋਵੇਗਾ—

$$\mathbf{A.B} = \left(A_x\hat{\mathbf{i}} + A_y\hat{\mathbf{j}} + A_z\hat{\mathbf{k}}\right).\left(B_x\hat{\mathbf{i}} + B_y\hat{\mathbf{j}} + B_z\hat{\mathbf{k}}\right)$$
$$= A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z \qquad (6.1b)$$

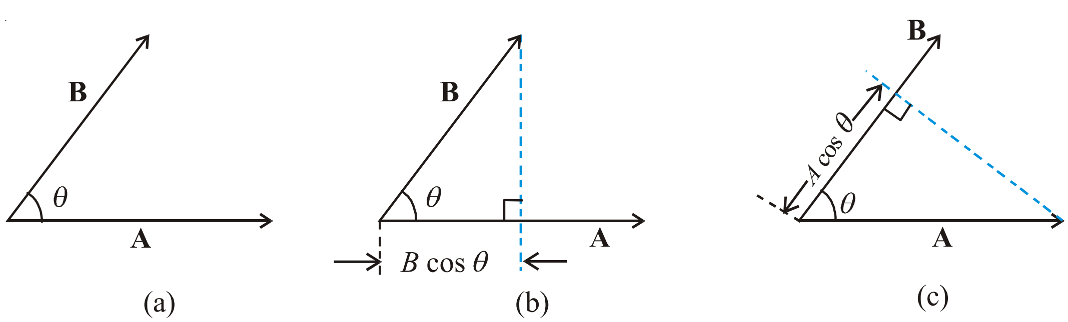
ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਪਰਿਭਾਸ਼ਾ ਅਤੇ ਸਮੀਕਰਨ 6.1(b) ਤੋਂ ਸਾਨੂੰ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਨਤੀਜੇ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦੇ ਹਨ —

(i) $\mathbf{A.A} = A_xA_x + A_yA_y + A_zA_z$

ਜਾਂ $A^2 = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 \qquad (6.1c)$

ਕਿਉਂਕਿ $\mathbf{A.A} = |\mathbf{A}|\,|\mathbf{A}|\cos 0 = A^2$.

(ii) $\mathbf{A.B} = 0$, ਜੇ **A** ਅਤੇ **B** ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਦੇ ਲੰਬ (perpendicular) ਹੋਣ।



ਚਿੱਤਰ 6.1 (a) ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ **A** ਅਤੇ **B** ਦਾ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਇੱਕ ਅਦਿਸ਼ : **A.B** = AB cos θ. (b) B cos θ, **B** ਦੀ **A** ਤੇ ਪ੍ਰੋਜੈਕਸ਼ਨ (projection) ਹੈ (c) A cos θ, **A** ਦੀ **B** ਤੇ ਪ੍ਰੋਜੈਕਸ਼ਨ ਹੈ।

ਉਦਾਹਰਨ 6.1 ਬਲ $\mathbf{F} = (3\hat{i} + 4\hat{j} - 5\hat{k})$ unit ਅਤੇ ਵਿਸਥਾਪਨ $\mathbf{d} = (5\hat{i} + 4\hat{j} - 3\hat{k})$ unit ਵਿੱਚ ਕੋਣ ਪਤਾ ਕਰੋ। **F** ਦੀ **d** ਤੇ ਪ੍ਰੋਜੈਕਸ਼ਨ ਵੀ ਪਤਾ ਕਰੋ।

ਹੱਲ :

$$\mathbf{F.d} = F_x d_x + F_y d_y + F_z d_z$$
$$= 3\ (5) + 4\ (4) + (-5)\ (3)$$
$$= 16 \text{ unit}$$

ਇਸ ਲਈ $\mathbf{F.d} = F\,d\ \cos\theta = 16$ unit

ਹੁਣ $\mathbf{F.F} = F^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2$

$$= 9 + 16 + 25$$
$$= 50 \text{ unit}$$

ਅਤੇ $\mathbf{d.d} = d^2 = d_x^2 + d_y^2 + d_z^2$

$$= 25 + 16 + 9$$
$$= 50 \text{ unit}$$

$$\therefore \cos\theta = \frac{16}{\sqrt{50}\sqrt{50}} = \frac{16}{50} = 0.32$$

$$\theta = \cos^{-1}\ (0.32)$$

6.2 ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਸੰਕਲਪਨਾ ਜਾਂ ਧਾਰਨਾ : ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ (Notions of work and kinetic energy : The work-energy theorem)

ਪਾਠ 3 ਵਿੱਚ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਪ੍ਰਵੇਗ a ਦੇ ਅੰਤਰਗਤ ਸਰਲ ਰੇਖੀ ਗਤੀ ਦੇ ਲਈ ਤੁਸੀਂ ਨਿਮਨ ਭੌਤਿਕ ਸੰਬੰਧ ਪੜ੍ਹ ਚੁੱਕੇ ਹੋ—

$$v^2 - u^2 = 2as \qquad (6.2)$$

ਜਿੱਥੇ u ਅਤੇ v ਬਾਰੀ ਸਿਰ ਅਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਚਾਲ ਅਤੇ s ਵਸਤੂ ਦੁਆਰਾ ਤੈਅ ਕੀਤੀ ਗਈ ਦੂਰੀ ਹੈ। ਦੋਵੇਂ ਪਾਸਿਆਂ ਨੂੰ $m/2$ ਨਾਲ ਗੁਣਾ ਕਰਨ ਤੇ

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 = mas = Fs \qquad (6.2a)$$

ਜਿੱਥੇ ਆਖ਼ਰੀ ਚਰਨ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਹੈ। ਇਸ ਪ੍ਰਕਾਰ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਦੁਆਰਾ ਸੌਖਿਆਂ ਹੀ ਸਮੀਕਰਨ (6.2) ਦਾ ਤਿੰਨ ਵਿਮੀ (three dimensional) ਵਿਆਪੀ-ਕਰਨ (generalization) ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ—

$$v^2 - u^2 = 2\,\mathbf{a.d}$$

ਇੱਕ ਵਾਰ ਫਿਰ ਦੋਵੇਂ ਪਾਸਿਆਂ ਨੂੰ $m/2$ ਨਾਲ ਗੁਣਾ ਕਰਨ ਤੇ ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 = m\,\mathbf{a.d} = \mathbf{F.d} \qquad (6.2b)$$

ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨ ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਨੂੰ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕਰਨ ਲਈ ਪ੍ਰੇਰਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਸਮੀਕਰਨ (6.2b) ਵਿੱਚ ਖੱਬਾ ਪਾਸਾ ਵਸਤੂ ਦੇ ਪੁੰਜ ਦੇ ਅੱਧ ਅਤੇ ਵਸਤੂ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਅਤੇ ਅਰੰਭਿਕ ਚਾਲਾ ਦੇ ਵਰਗਾ ਦੇ ਅੰਤਰ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਇਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਹਰ ਰਾਸ਼ੀ ਨੂੰ "ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ" (Kinetic energy) ਕਹਿੰਦੇ ਹਾਂ ਅਤੇ ਸੰਕੇਤ K ਨਾਲ ਲਿਖਦੇ ਹਾਂ। ਸਮੀਕਰਨ ਦਾ ਸੱਜਾ ਪਾਸਾ ਵਸਤੂ ਤੇ ਲੱਗੇ ਬਲ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਸਮਾਂਤਰ ਘਟਕ ਅਤੇ ਵਸਤੂ ਦੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦਾ ਗੁਣਨਫਲ ਹੈ। ਇਸ ਰਾਸ਼ੀ ਨੂੰ 'ਕਾਰਜ' ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਇਸ ਨੂੰ ਸੰਕੇਤ W ਨਾਲ ਲਿਖਦੇ ਹਨ। ਇਸ ਲਈ ਸਮੀਕਰਨ (6.2b) ਨੂੰ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਅਨੁਸਾਰ ਲਿਖ ਸਕਦੇ ਹਾਂ।

$$K_f - K_i = W \qquad (6.3)$$

ਜਿੱਥੇ K_i ਅਤੇ K_f ਵਸਤੂ ਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੈ। ਕਾਰਜ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਬਲ ਅਤੇ ਇਸਦੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਸੰਬੰਧ ਨੂੰ ਦੱਸਦਾ ਹੈ। **ਇਸ ਲਈ ਕਿਸੇ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਦੌਰਾਨ ਵਸਤੂ ਤੇ ਲਗਾਇਆ ਗਿਆ ਬਲ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ।**

ਸਮੀਕਰਨ (6.3) ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ (Theorem) ਦੀ ਇੱਕ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਸਥਿਤੀ ਹੈ ਜੋ ਇਹ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦੀ ਹੈ ਕਿ **ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਤੇ ਲਗਾਏ ਗਏ ਕੁੱਲ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਉਸ ਵਸਤੂ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਹੋਏ ਪਰਿਵਰਤਨ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।** ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ (varying force) ਦੇ ਲਈ ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਉਤਪਤੀ ਦਾ ਵਿਆਪੀਕਰਨ ਅਸੀਂ ਅਨੁਭਾਗ 6.6 ਵਿੱਚ ਕਰਾਂਗੇ।

ਉਦਾਹਰਨ 6.2 ਅਸੀਂ ਚੰਗੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਜਾਣਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਵਰਖਾ ਦੀਆਂ ਬੂੰਦਾਂ ਹੇਠਾਂ ਵੱਲ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਅਤੇ ਬੂੰਦ ਦੇ ਡਿਗਣ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਦੇ ਉਲਟ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧੀ ਬਲ ਦੇ ਪ੍ਰਭਾਵ ਅਧੀਨ ਡਿਗਦੀ ਹੈ। ਪ੍ਰਤਿਰੋਧੀ ਬਲ ਬੂੰਦ ਦੀ ਚਾਲ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ, ਪਰ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਮੰਨਿਆ ਕਿ 1.00 g ਪੁੰਜ ਦੀ ਵਰਖਾ ਦੀ ਬੂੰਦ 1.00 km ਉੱਚਾਈ ਤੋਂ ਡਿੱਗ ਰਹੀ ਹੈ ਇਹ ਧਰਾਤਲ ਤੇ 50.00 m s^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਂਦੀ ਹੈ। (a) ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਕੀ ਹੈ ? (b) ਅਗਿਆਤ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਕੀ ਹੈ ?

ਹੱਲ : (a) ਬੂੰਦ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ

$$K = \frac{1}{2}m\,v^2 - \frac{1}{2}m\,u^2 \qquad (\because u = 0)$$

$$= \frac{1}{2} \times 10^{-3} \times 50 \times 50$$

$$= 1.25 \text{ J}$$

ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ ਮੰਨ ਲਿਆ ਹੈ ਕਿ ਬੂੰਦ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਤੋਂ ਡਿਗਣਾ ਸ਼ੁਰੂ ਕਰਦੀ ਹੈ।

ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$W_g = mgh$

ਮੰਨ ਲਓ $g = 10\ ms^{-2}$ ਹੈ

ਇਸ ਲਈ $W_g = mgh = 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = 10\ J$

(b) ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਤੋਂ

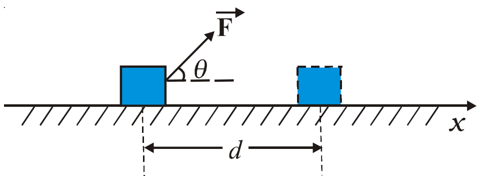
$$\Delta K = W_g + W_r$$

ਜਿੱਥੇ W_r ਪ੍ਰਤਿਰੋਧੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ

$$W_r = \Delta K - W_g = 1.25 - 10 = -8.75\ J$$ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੈ। ◀

6.3 ਕਾਰਜ (Work)

ਉੱਪਰਲੇ ਅਨੁਭਾਗ ਵਿੱਚ ਤੁਸੀਂ ਦੇਖਿਆ ਕਿ ਕਾਰਜ, ਬਲ ਅਤੇ ਉਸ ਦੁਆਰਾ ਵਸਤੂ ਦੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਇੱਕ ਸਥਿਰ ਬਲ (constant force) **F**, ਕਿਸੇ m ਪੁੰਜ ਦੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗ ਰਿਹਾ ਹੈ ਜਿਸਦੇ ਕਾਰਨ ਪਿੰਡ ਦਾ ਧਨਾਤਮਕ x–ਦਿਸ਼ਾ (positive x-direction) ਵਿੱਚ ਹੋਣ ਵਾਲਾ ਵਿਸਥਾਪਨ **d** ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 6.2 ਵਿੱਚ ਦਰਸਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.2 ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦਾ ਲੱਗੇ ਬਲ F ਕਾਰਨ ਵਿਸਥਾਪਨ (d)

ਇਸ ਲਈ ਕਿਸੇ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ "ਬਲ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਦੇ ਸਮਾਂਤਰ ਘਟਕ ਅਤੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਪਰਿਮਾਣ ਦੇ ਗੁਣਨਫਲ" ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ—

$$W = (F\cos\theta)d = \mathbf{F.d} \qquad (6.4)$$

ਅਸੀਂ ਦੇਖਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਜੇ ਵਸਤੂ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ ਤਾਂ ਬਲ ਦਾ ਪਰਿਮਾਣ ਕਿੰਨਾਂ ਵੀ ਵੱਧ ਕਿਉਂ ਨਾ ਹੋਵੇ, ਵਸਤੂ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਕਦੇ ਤੁਸੀਂ ਕਿਸੇ ਇੱਟਾਂ ਦੀ ਦ੍ਰਿੜ ਕੰਧ ਨੂੰ ਧੱਕਾ ਦਿੰਦੇ ਹੋ ਤਾਂ ਕੋਈ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਤੁਹਾਡੀਆਂ ਮਾਸਪੇਸ਼ੀਆਂ ਦਾ ਵਾਰੀ-ਵਾਰੀ ਸੰਕੁਚਨ ਅਤੇ ਸਿਥਿਲੀਕਰਨ ਹੋ ਰਿਹਾ ਹੈ ਅਤੇ ਅੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਲਗਾਤਾਰ ਖ਼ਰਚ ਹੋ ਰਹੀ ਹੈ ਅਤੇ ਤੁਸੀਂ ਥੱਕ ਜਾਂਦੇ ਹੋ। ਭੌਤਿਕ ਵਿਗਿਆਨ ਵਿੱਚ ਕਾਰਜ ਦਾ ਅਰਥ ਇਸਦੇ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਭਾਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਵਰਤੋਂ ਦੇ ਅਰਥ ਤੋਂ ਭਿੰਨ ਹੈ।

ਕੋਈ ਵੀ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਜੇ—

(i) ਵਸਤੂ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋਵੇ, ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਉਪਰੋਕਤ ਉਦਾਹਰਨ ਵਿੱਚ ਤੁਸੀਂ ਦੇਖਿਆ। ਕੋਈ ਵੀ ਵੇਟਲਿਫਟਰ (weightlifter, ਭਾਰ ਚੁੱਕਣ ਵਾਲਾ ਖਿਡਾਰੀ) 150 kg ਪੁੰਜ ਦੇ ਭਾਰ ਨੂੰ 30 s ਤੱਕ ਆਪਣੇ ਮੋਢਿਆਂ ਤੇ ਲਗਾਤਾਰ ਚੁੱਕ ਕੇ ਖੜ੍ਹਾ ਹੈ ਤਾਂ ਉਹ ਕੋਈ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਕਰ ਰਿਹਾ ਹੈ।

(ii) ਬਲ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਚੀਕਣੀ ਖਿਤਜੀ (smooth horizontal) ਮੇਜ਼ ਤੇ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਪਿੰਡ ਤੇ ਕੋਈ ਖਿਤਜੀ ਬਲ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ ਹੈ, (ਕਿਉਂਕਿ ਰਗੜ ਨਹੀਂ ਹੈ) ਪਰੰਤੂ ਪਿੰਡ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੋ ਸਕਦਾ ਹੈ।

(iii) ਬਲ ਅਤੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਲੰਬ ਰੂਪ ਹਨ ਕਿਉਂਕਿ ($\theta = \pi/2$ rad (= 90°), cos (π/2) = 0)। ਕਿਸੇ ਚੀਕਣੀ ਖਿਤਜੀ ਮੇਜ਼ ਤੇ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਪਿੰਡ ਦੇ ਲਈ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ mg ਕੋਈ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿਉਂਕਿ ਇਹ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਲੰਬ ਰੂਪ ਕਾਰਜ ਕਰ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੇ ਇਰਦ-ਗਿਰਦ ਚੰਦਰਮਾ ਦਾ ਪੱਥ (orbit) ਲਗਭਗ ਚੱਕਰ ਆਕਾਰ ਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਅਸੀਂ ਚੰਦਰਮਾ ਦੇ ਪੱਥ ਨੂੰ ਪੂਰੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਚੱਕਰ ਆਕਾਰ ਮੰਨ ਲਈਏ ਤਾਂ ਧਰਤੀ ਦਾ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਕੋਈ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਕਿਉਂਕਿ ਚੰਦਰਮਾ ਦਾ ਤਤਕਾਲਿਕ ਵਿਸਥਾਪਨ (instantaneous displacement) ਸਪਰਸ਼ ਰੇਖੀ (tangential) ਹੈ ਜਦੋਂਕਿ ਧਰਤੀ ਦਾ ਬਲ ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੇ ਸਮਾਂਤਰ ਕੇਂਦਰ ਵੱਲ (radially inwards) ਹੈ, ਅਰਥਾਤ $\theta = \pi/2$ ।

ਕਾਰਜ ਧਨਾਤਮਕ (positive) ਅਤੇ ਰਿਣਾਤਮਕ (negative) ਦੋਵੇਂ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦਾ ਹੋ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਜੇ θ, 0° ਅਤੇ 90°, ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਸਮੀਕਰਨ 6.4 ਵਿੱਚ cos θ ਦਾ ਮਾਨ ਧਨਾਤਮਕ ਹੋਵੇਗਾ। ਜੇ θ, 90° ਅਤੇ 180° ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਹੈ ਤਾਂ cos θ ਦਾ ਮਾਨ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੋਵੇਗਾ। ਕਈ ਉਦਾਹਰਨਾਂ ਵਿੱਚ ਰਗੜ ਬਲ, ਵਿਸਥਾਪਨ ਦਾ ਵਿਰੋਧ ਕਰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ θ = 180° ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਅਜਿਹੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਰਗੜ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦਾ ਹੈ (cos 180° = –1)।

ਸਮੀਕਰਨ (6.4) ਤੋਂ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੈ ਕਿ ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਊਰਜਾ ਦੀਆਂ ਵਿਮਾਂ ਬਰਾਬਰ $[ML^2T^{-2}]$ ਹਨ। ਬ੍ਰਿਟਿਸ਼ ਭੌਤਿਕ ਵਿਗਿਆਨੀ ਜੇਮਸ ਪ੍ਰੇਸਕਾੱਟ ਜੂਲ (James Prescott Joule) (1811-1869) ਦੇ ਸਨਮਾਨ ਵਿੱਚ ਇਹਨਾਂ ਦਾ SI ਮਾਤਰਕ 'ਜੂਲ' (joule) ਕਹਾਉਂਦਾ ਹੈ। ਕਿਉਂਕਿ ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਊਰਜਾ ਵਿਆਪਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਭੌਤਿਕ ਧਾਰਨਾਵਾਂ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਵਰਤੇ ਜਾਂਦੇ ਹਨ। ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਵਿਕਲਪਿਕ ਮਾਤਰਕਾਂ ਨਾਲ ਭਰਪੂਰ ਹਨ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਕੁੱਝ ਨੂੰ ਸਾਰਣੀ 6.1 ਵਿੱਚ ਸੂਚੀਬੱਧ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।

ਸਾਰਣੀ 6.1 ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਵਿਕਲਪੀ ਮਾਤਰਕ (ਜੂਲ ਵਿੱਚ)

ਅਰਗ (erg)	10^{-7} J
ਇਲੈਕ ਟ੍ਰਾਨਵੋਲਟ (eV)	1.6×10^{-19} J
ਕੈਲੋਰੀ (cal)	4.186 J
ਕਿਲੋਵਾਟ ਘੰਟਾ (kWh)	3.6×10^{6} J

▶ ***ਉਦਾਹਰਨ 6.3*** ਕੋਈ ਸਾਈਕਲ ਸਵਾਰ ਬ੍ਰੇਕ ਲਗਾਉਣ ਤੇ ਫਿਸਲਦਾ ਹੋਇਆ 10 m ਦੂਰ ਜਾ ਕੇ ਰੁੱਕਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਦੇ ਸਮੇਂ ਦੌਰਾਨ, ਸੜਕ ਦੁਆਰਾ ਸਾਈਕਲ ਤੇ ਲਗਾਇਆ ਗਿਆ ਬਲ 200 N ਹੈ ਜੋ ਉਸਦੀ ਗਤੀ ਦੇ ਉਲਟ ਹੈ। (a) ਸੜਕ ਦੁਆਰਾ ਸਾਈਕਲ ਤੇ ਕਿੰਨਾਂ ਕਾਰਜ ਕੀਤਾ ਗਿਆ? (b) ਸਾਈਕਲ ਦੁਆਰਾ ਸੜਕ ਤੇ ਕਿੰਨਾਂ ਕਾਰਜ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ?

ਹੱਲ : ਸੜਕ ਦੁਆਰਾ ਸਾਈਕਲ ਤੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਸੜਕ ਦੁਆਰਾ ਸਾਈਕਲ ਤੇ ਲਗਾਏ ਗਏ ਵਿਰੋਧੀ ਬਲ (ਰਗੜ ਬਲ) ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਹੈ।

(*a*) ਇੱਥੇ ਵਿਰੋਧੀ ਬਲ ਅਤੇ ਸਾਈਕਲ ਦੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਕੋਣ 180° (ਜਾਂ π rad) ਹੈ।

ਇਸ ਲਈ ਸੜਕ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$$W_r = Fd\cos\theta$$
$$= 200 \times 10 \times \cos\pi$$
$$= -2000\ \text{J}$$

ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਅਨੁਸਾਰ, ਇਸ ਰਿਣਾਤਮਕ ਕਾਰਜ ਦੇ ਕਾਰਨ ਹੀ ਸਾਈਕਲ ਰੁੱਕ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

(b) ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਗਤੀ ਦੇ ਤੀਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਸਾਈਕਲ ਦੁਆਰਾ ਸੜਕ ਤੇ ਲਗਾਇਆ ਗਿਆ ਬਲ ਸੜਕ ਦੁਆਰਾ ਸਾਈਕਲ ਤੇ ਲਗਾਏ ਬਲ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਪਰ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋਵੇਗਾ। ਇਸਦਾ ਪਰਿਮਾਣ 200 N ਹੈ। ਐਪਰ, ਸੜਕ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਸਾਈਕਲ ਦੁਆਰਾ ਸੜਕ ਤੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ।

ਇਸ ਉਦਾਹਰਨ ਤੋਂ ਸਾਨੂੰ ਇਹ ਪਤਾ ਲੱਗਦਾ ਹੈ ਕਿ ਪਿੰਡ B ਦੁਆਰਾ A ਤੇ ਲਗਾਇਆ ਬਲ, ਪਿੰਡ A ਦੁਆਰਾ ਪਿੰਡ B ਤੇ ਲਗਾਏ ਬਲ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਅਤੇ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੈ। (ਨਿਊਟਨ ਦਾ ਗਤੀ ਦਾ ਤੀਸਰਾ ਨਿਯਮ) ਐਪਰ, ਇਹ ਜ਼ਰੂਰੀ ਨਹੀਂ ਹੈ ਕਿ ਪਿੰਡ B ਦੁਆਰਾ A ਤੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ, ਪਿੰਡ A ਦੁਆਰਾ B ਤੇ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਅਤੇ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋਵੇ।

6.4 ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ (Kinetic energy)

ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਪਹਿਲਾਂ ਉਲੇਖ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ ਕਿ ਜੇ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦਾ ਪੁੰਜ m ਅਤੇ ਵੇਗ $\mathbf{v}$ ਹੈ ਤਾਂ ਇਸਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ,

$$K = \frac{1}{2}m\,\mathbf{v.v} = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (6.5)$$

ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਇੱਕ ਅਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ।

ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ, ਉਸ ਪਿੰਡ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਮਾਪ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਜੋ ਉਹ ਆਪਣੀ ਗਤੀ ਦੇ ਕਾਰਨ ਕਰ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਧਾਰਨਾ ਦਾ ਅੰਤਰਗਿਆਨ ਬਹੁਤ ਸਮੇਂ ਤੋਂ ਹੈ। ਤੀਬਰ ਗਤੀ ਨਾਲ ਵਗਦੇ ਪਾਣੀ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਅਨਾਜ ਪੀਸਣ ਦੇ ਲਈ ਕੀਤੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

ਪਾਲ ਵਾਲੇ ਸਮੁੰਦਰੀ ਜਹਾਜ਼ (sailing ships) ਹਵਾ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਸਾਰਣੀ 6.2 ਵਿੱਚ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਪਿੰਡਾਂ ਦੀਆਂ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਸੂਚੀਬੱਧ ਹਨ।

ਸਾਰਣੀ 6.2 ਵਿਸ਼ਿਸ਼ਟ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ **(K)**

ਪਿੰਡ	ਪੁੰਜ (Kg)	ਚਾਲ (ms^{-1})	K(J)
ਕਾਰ	2000	25	6.3×10^5
ਦੌੜਾਕ (ਐਥਲੀਟ)	70	10	3.5×10^3
ਗੋਲੀ	5×10^{-2}	200	10^3
10 m ਦੀ ਉਚਾਈ ਤੋਂ ਡਿੱਗਦਾ ਪੱਥਰ	1	14	10^2
ਅੰਤਿਮ ਵੇਗ (terminal velocity) ਨਾਲ ਡਿਗਦੀ ਵਰਖਾ ਦੀ ਬੂੰਦ	3.5×10^{-5}	9	1.4×10^{-3}
ਹਵਾ ਦਾ ਅਣੂ	□ 10^{-26}	500	□ 10^{-21}

▶ ***ਉਦਾਹਰਨ 6.4*** ਕਿਸੇ ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਨ ਵਿਚ ਇੱਕ ਪੁਲਿਸ ਅਧਿਕਾਰੀ 50 g ਪੁੰਜ ਦੀ ਗੋਲੀ ਨੂੰ 2 cm ਮੋਟੀ ਨਰਮ ਪਰਤਦਾਰ ਲੱਕੜੀ (ਪਲਾਈਵੁਡ) ਤੇ 200 ms^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਫਾਇਰ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਨਰਮ ਲੱਕੜੀ ਵਿੱਚੋਂ ਆਰ-ਪਾਰ ਹੋਣ ਦੇ ਬਾਅਦ ਗੋਲੀ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅਰੰਭਿਕ ਊਰਜਾ ਦੀ 10% ਰਹਿ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਲੱਕੜੀ ਵਿੱਚੋਂ ਨਿਕਲਦੇ ਸਮੇਂ ਗੋਲੀ ਦੀ ਚਾਲ ਕੀ ਹੋਵੇਗੀ?

ਹੱਲ : ਗੋਲੀ ਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਊਰਜਾ

$$mv^2/2 = 1000\ \text{J}$$

ਗੋਲੀ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ = $0.1\times1000 = 100$J

ਜੇ ਗੋਲੀ ਦੀ ਨਰਮ ਲੱਕੜੀ ਦੇ ਆਰ-ਪਾਰ ਹੋਣ ਤੋਂ ਬਾਦ ਚਾਲ v_f ਹੋਵੇ ਤਾਂ,

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = 100\ \text{J}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2\times100\ \text{J}}{0.05\ \text{kg}}} = 63.2\ \text{ms}^{-1}$$ ◀

ਨਰਮ ਲੱਕੜੀ ਤੋਂ ਆਰ-ਪਾਰ ਹੋਣ ਤੋਂ ਬਾਦ ਗੋਲੀ ਦੀ ਚਾਲ ਲਗਭਗ 68% ਘੱਟ ਹੋ ਗਈ ਹੈ (90% ਨਹੀਂ)।

6.5 ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ (Work done by a variable force)

ਸਥਿਰ ਬਲ (constant force) ਤਾਂ ਬਹੁਤ ਹੀ ਘੱਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਵਧੇਰੇ ਕਰਕੇ ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ (variable force) ਦੇ ਉਦਾਹਰਨ ਹੀ ਦੇਖਣ ਨੂੰ ਮਿਲਦੇ ਹਨ। ਚਿੱਤਰ 6.3 ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਦਾ ਆਲੇਖ (graph) ਹੈ।

ਜੇ ਵਿਸਥਾਪਨ Δx, ਸੂਖਮ ਹੈ ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਬਲ $F(x)$ ਨੂੰ ਵੀ ਲਗਭਗ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਜਾਂ ਸਥਿਰ (approximately Constant) ਲੈ ਸਕਦੇ ਹਾਂ ਅਤੇ

ਤੱਦ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$$\Delta W = F(x)\Delta x$$

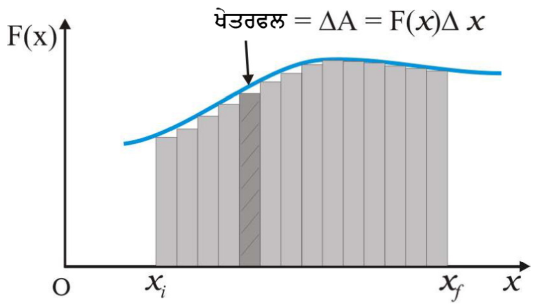
ਇਸ ਨੂੰ ਚਿੱਤਰ 6.3(a). ਵਿੱਚ ਸਮਝਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ।

ਚਿੱਤਰ 6.3(*a*) ਵਿੱਚ ਕ੍ਰਮਵਾਰ ਆਇਤਾਕਾਰ ਖੇਤਰਫਲਾਂ ਦਾ ਜੋੜ ਕਰਨ ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਕੁੱਲ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਿਸ ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਲਿਖਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ—

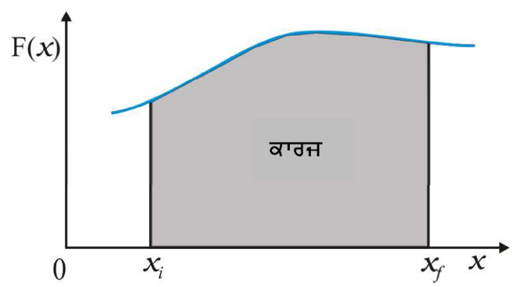
$$W \cong \sum_{x_i}^{x_f} F(x)\Delta x \qquad (6.6)$$

ਇੱਥੇ ਸੰਕੇਤ 'Σ' ਦਾ ਅਰਥ ਹੈ ਯੋਗਫਲ, ਜਦੋਂ ਕਿ 'x_i' ਵਸਤੂ ਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਸਥਿਤੀ ਅਤੇ 'x_f' ਵਸਤੂ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਸਥਿਤੀ ਹੈ।

ਜੇ ਵਿਸਥਾਪਨਾਂ ਨੂੰ ਅਤਿਸੂਖਮ ਮੰਨ ਲਿਆ ਜਾਵੇ ਤਾਂ ਯੋਗਫਲ ਵਿੱਚ ਪਦਾਂ ਦੀ ਸੰਖਿਆ ਅਸੀਮਿਤ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਵੱਧ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਪਰ ਯੋਗਫਲ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਮਾਨ ਦੇ ਨੇੜੇ ਪੁੱਜ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਜੋ ਚਿੱਤਰ 6.3(b) ਵਿੱਚ ਵਕਰ ਦੇ ਹੇਠਾਂ ਦੇ ਖੇਤਰਫਲ ਦੇ ਸਮਾਨ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.3 (a)



ਚਿੱਤਰ 6.3 (b)

ਚਿੱਤਰ 6.3 (a) ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ F(x) ਦੁਆਰਾ ਸੂਖਮ ਵਿਸਥਾਪਨ Δx ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ $\Delta W = F(x)\,\Delta x$, ਸ਼ੇਡਡ (shaded) ਆਇਤ ਦੁਆਰਾ ਦਰਸਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ। (b) $\Delta x \to 0$ ਦੇ ਲਈ ਸਾਰੇ ਆਇਤਾਂ ਦੇ ਖੇਤਰਫਲਾਂ ਨੂੰ ਜੋੜਨ ਤੇ, ਵਕਰ ਦੁਆਰਾ ਕਵਰ ਕੀਤਾ ਖੇਤਰਫਲ, ਬਲ F(x) ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦੇ ਠੀਕ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

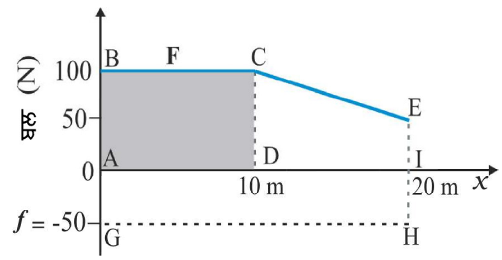
ਇਸ ਲਈ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$$= \int_{x_i}^{x_f} F(x)\,dx \qquad (6.7)$$

ਜਿੱਥੇ '*lim*' ਦਾ ਅਰਥ ਹੈ 'ਯੋਗਫਲ ਦੀ ਸੀਮਾ' ਜਦੋਂ ਕਿ Δx ਨਕਾਰਨਯੋਗ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਜ਼ੀਰੋ ਦੇ ਬਹੁਤ ਨੇੜੇ ਪੁੱਜਣ ਦੀ ਕੋਸ਼ਿਸ਼ ਵਿੱਚ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਦੇ ਲਈ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਨੂੰ ਕੀਤੇ ਗਏ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੀਆਂ ਸੀਮਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਬਲ ਦੇ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਸਮਕਲਨ (definite integral of force over displacement) ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਵਿਅਕਤ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। (ਅਨੁਲਗ 3.1 ਦੇਖੋ)

▶ ***ਉਦਾਹਰਨ 6.5*** ਕੋਈ ਇਸਤਰੀ ਖੁਰਦਰੀ ਸਤ੍ਹਾ ਵਾਲੇ ਰੇਲਵੇ ਪਲੇਟਫਾਰਮ ਤੇ ਸੰਦੂਕ ਨੂੰ ਖਿਸਕਾਂਦੀ ਹੈ। ਉਹ 10 m ਦੀ ਦੂਰੀ ਤੱਕ 100 N ਦਾ ਬਲ ਲਗਾਉਂਦੀ ਹੈ। ਉਸ ਤੋਂ ਬਾਅਦ, ਉਹ ਥੱਕ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਉਸ ਦੁਆਰਾ ਲੱਗਿਆ ਬਲ ਰੇਖੀ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਘੱਟ ਕੇ 50 N ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਸੰਦੂਕ ਨੂੰ ਕੁੱਲ 20 m ਦੀ ਦੂਰੀ ਤੱਕ ਖਿਸਕਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸਤਰੀ ਦੁਆਰਾ ਸੰਦੂਕ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ ਅਤੇ ਰਗੜ ਬਲ ਜੋ ਕਿ 50 N ਹੈ, ਅਤੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਦੇ ਵਿੱਚ ਗ੍ਰਾਫ਼ ਬਣਾਓ। ਦੋਵੇਂ ਬਲਾਂ ਦੁਆਰਾ 20 m ਤੱਕ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਨੂੰ ਪਤਾ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਚਿੱਤਰ 6.4 ਵਿੱਚ ਲਗਾਏ ਗਏ ਬਲ ਦਾ ਗ੍ਰਾਫ਼ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.4 ਕਿਸੇ ਇਸਤਰੀ ਦੁਆਰਾ ਲਗਾਏ ਬਲ F ਅਤੇ ਵਿਰੋਧੀ ਰਗੜ ਬਲ f ਅਤੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਵਿੱਚ ਗ੍ਰਾਫ਼

x = 20 m ਤੇ F = 50 N ($\neq 0$) ਹੈ। ਸਾਨੂੰ ਰਗੜ ਬਲ **f** ਦਿੱਤਾ ਗਿਆ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਪਰਿਮਾਣ (magnitude) ਹੈ

$|\mathbf{f}| = 50$ N

ਇਹ ਗਤੀ ਦਾ ਵਿਰੋਧ ਕਰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਲੱਗੇ ਬਲ **F** ਦੇ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ, ਇਸ ਨੂੰ ਬਲ-ਧੁਰੇ (force axis) ਦੀ ਰਿਣਾਤਮਕ ਦਿਸ਼ਾ ਵਲ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।

ਇਸਤਰੀ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$W_F \rightarrow$ (ਆਇਤ ABCD + ਸਮਲੰਬ CEID) ਦਾ ਖੇਤਰਫਲ

$$W_F = 100 \times 10 + \frac{1}{2}(100 + 50) \times 10$$

$$= 1000 + 750$$

$$= 1750 \text{ J}$$

ਰਗੜ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$W_f \rightarrow$ ਆਇਤ AGHI ਦਾ ਖੇਤਰਫਲ

$$W_f = (-50) \times 20$$

$$= -1000 \text{ J}$$

ਇੱਥੇ ਖੇਤਰਫਲ ਦਾ ਬਲ-ਧੁਰੇ ਦੀ ਰਿਣਾਤਮਕ ਦਿਸ਼ਾ ਵੱਲ ਹੋਣ ਨਾਲ ਖੇਤਰਫਲ ਦਾ ਚਿੰਨ੍ਹ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੈ। ◀

6.6 ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਲਈ ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ (The work-energy theorem for a variable force)

ਅਸੀਂ ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਦੇ ਲਈ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਨੂੰ ਸਿੱਧ ਕਰਨ ਦੇ ਲਈ ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀਆਂ ਧਾਰਨਾਵਾਂ ਤੋਂ ਚੰਗੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਜਾਣੂ ਹਾਂ। ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦੇ ਇੱਕ ਵਿਧੀ ਪੱਖ ਤੱਕ ਹੀ ਵਿਚਾਰ ਨੂੰ ਸੀਮਿਤ ਰੱਖਾਂਗੇ। ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਪਰਿਵਰਤਨ ਦੀ ਦਰ ਹੈ —

$$\frac{dK}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$$

$$= \frac{m\,dv}{dt}.v$$

$$= F\,v$$

(ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ $m\frac{dv}{dt} = F$)

$$= F\frac{dx}{dt}$$

ਇਸ ਲਈ

$$dK = F dx$$

ਅਰੰਭਿਕ ਸਥਿਤੀ (x_i) ਤੋਂ ਅੰਤਿਮ ਸਥਿਤੀ (x_f), ਤੱਕ ਸਮਕਲਨ (integrating) ਕਰਨ ਤੇ

$$\int_{K_i}^{K_f} dK = \int_{x_i}^{x_f} F dx$$

ਜਿੱਥੇ, x_i ਅਤੇ x_f ਦੇ ਸੰਗਤ K_i ਅਤੇ K_f ਕ੍ਰਮਵਾਰ ਅਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਊਰਜਾਵਾਂ ਹਨ।

ਜਾਂ $$K_f - K_i = \int_{x_i}^{x_f} F dx \qquad (6.8a)$$

ਸਮੀਕਰਨ (6.7), ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$K_f - K_i = W \qquad (6.8b)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਦੇ ਲਈ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਸਿੱਧ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਜਦੋਂ ਕਿ ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਕਈ ਪ੍ਰਕਾਰ ਦੇ ਪ੍ਰਸ਼ਨਾਂ ਨੂੰ ਹੱਲ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਉਪਯੋਗੀ ਹੈ ਪਰ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦੀ ਪੂਰਨ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਗਤੀਕੀ ਸੂਚਨਾ ਦਾ ਸਮਾਵੇਸ਼ ਨਹੀਂ ਕਰਦੀ ਹੈ। ਇਹ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦਾ ਸਮਕਲਨ ਰੂਪ (integral form) ਹੈ। ਨਿਊਟਨ ਦਾ ਦੂਸਰਾ ਨਿਯਮ ਕਿਸੇ ਬਲ ਅਤੇ ਪਲ ਪ੍ਰਵੇਗ ਵਿੱਚ ਸੰਬੰਧ ਦਰਸਾਉਂਦਾ ਹੈ। ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਕਿਸੇ ਸਮਾਂ ਅੰਤਰਾਲ ਦੇ ਲਈ ਇੱਕ ਸਮਕਲਨ ਸ਼ਾਮਿਲ ਕਰਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਦ੍ਰਿਸ਼ਟੀ ਤੋਂ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਵਿੱਚ ਸ਼ਾਮਿਲ ਕਾਲ ਦੀ ਸੂਚਨਾ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਵਿੱਚ ਸਪਸ਼ਟ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਗਟ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀ। ਬਲਕਿ ਇੱਕ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਕਾਲ ਦੇ ਲਈ ਸਮਕਲਨ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਦੂਸਰੀ ਧਿਆਨ ਦੇਣ ਦੀ ਗੱਲ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਦੋ ਜਾਂ ਤਿੰਨ ਵਿਮਾਂ ਵਿੱਚ ਨਿਊਟਨ ਦਾ ਦੂਸਰਾ ਨਿਯਮ ਸਦਿਸ਼ (vector) ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਅਦਿਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਵਿੱਚ ਦਿਸ਼ਾ ਸੰਬੰਧਿਤ ਗਿਆਨ ਵੀ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਵਰਗੇ ਅਦਿਸ਼ ਸੰਬੰਧ ਵਿੱਚ ਸ਼ਾਮਲ ਨਹੀਂ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 6.6** m = (1 kg) ਪੁੰਜ ਦਾ ਇੱਕ ਗੁਟਕਾ ਖਿਤਜੀ ਸਤਹਿ ਤੇ $v_i = 2 \text{ ms}^{-1}$ ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਚੱਲਦੇ ਹੋਏ $x = 0.10$ m ਤੋਂ $x = 2.01$ m ਦੇ ਖੁਰਦਰੇ ਹਿੱਸੇ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਵੇਸ਼ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਗੁਟਕੇ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲਾ ਮੰਦਕ ਬਲ (F_r) ਇਸ ਖੇਤਰ ਵਿੱਚ x ਦੇ ਉਲਟ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੈ,

$$F_r = \frac{-k}{x} \qquad 0.1 < x < 2.01 \text{ m}$$

$$0 \qquad x < 0.1 \text{ m ਅਤੇ } x < 2.01 \text{ m}$$

ਜਿੱਥੇ $k = 0.5$ J ਗੁਟਕਾ ਜਿਵੇਂ ਹੀ ਖੁਰਦਰੇ ਹਿੱਸੇ ਨੂੰ ਪਾਰ ਕਰਦਾ ਹੈ, ਇਸ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅਤੇ ਚਾਲ v_f ਦੀ ਗਣਨਾ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਸਮੀਕਰਨ (6.8a) ਤੋਂ

$$K_f = K_i + \int_{0.1}^{2.01} \frac{(-k)}{x} \mathrm{d}x$$

$$= \frac{1}{2} m v_i^2 - k\, ln(x)_{0.1}^{2.01}$$

$$= \frac{1}{2} m v_i^2 - k\, ln(2.01/0.1)$$

$$= 2 - 0.5\, ln(20.1)$$

$$= 2 - 1.5 = 0.5 \text{ J}$$

$$v_f = \sqrt{2K_f/m} = 1 \text{ m s}^{-1}$$

ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ ln ਅਧਾਰ (base) e ਤੇ ਕਿਸੇ ਸੰਖਿਆ ਦਾ ਪ੍ਰਕਿਰਤਕ ਲਘੂਗਣਕ (Natural logarithm) ਹੈ, ਨਾ ਕਿ ਅਧਾਰ 10 ਤੇ ਕਿਸੇ ਸੰਖਿਆ ਦਾ [$\ln X = \log_e X = 2.303 \log_{10} X$] ◀

6.7 ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਧਾਰਨਾ (The concept of potential energy)

ਇੱਥੇ 'ਸਥਿਤਿਜ' ਸ਼ਬਦ ਕਿਸੇ ਕਾਰਜ ਨੂੰ ਕਰਨ ਦੀ ਸੰਭਾਵਨਾ ਜਾਂ ਸਮਰੱਥਾ ਨੂੰ ਵਿਅਕਤ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਧਾਰਨਾ ਸੰਭਾਲ (Store) ਭੰਡਾਰ ਕੀਤੀ' ਊਰਜਾ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਖਿੱਚੇ ਹੋਏ ਤੀਰਕਮਾਨ ਦੀ ਤਾਰ ਡੋਰੀ ਦੀ ਊਰਜਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਇਸ ਨੂੰ ਢਿੱਲਾ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਤੀਰ ਤੀਬਰ ਚਾਲ ਨਾਲ ਦੂਰ ਚਲਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੀ ਪੇਪੜੀ ਇੱਕ ਸਮਾਨ ਨਹੀਂ ਹੈ, ਇਸ ਵਿੱਚ ਲਗਾਤਾਰਤਾ ਨਹੀਂ ਹੈ ਅਤੇ ਅਸਮਾਨਤਾਵਾਂ (Dislocation) ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ ਭਰੰਸ਼ ਰੇਖਾਵਾਂ (fault lines) ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੀ ਪੇਪੜੀ (crust) ਤੇ ਭਰੰਸ਼ ਰੇਖਾਵਾਂ 'ਨਪੀੜੀ ਕਮਾਣੀ' ਵਰਗੀਆਂ ਹਨ। ਉਹਨਾਂ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਬਹੁਤ ਵੱਧ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਇਹ ਭਰੰਸ਼ ਰੇਖਾਵਾਂ ਮੁੜਵਿਵਸਥਿਤ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ ਤਾਂ ਭੁਚਾਲ (earthquake) ਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਵੀ ਪਿੰਡ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ (ਸਟੋਰ ਊਰਜਾ) ਉਸਦੀ ਸਥਿਤੀ ਜਾਂ ਬਣਤਰ (ਰੂਪ ਰੇਖਾ) (configuration) ਦੇ ਕਾਰਨ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਮੁਕਤ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਛੱਡਣ ਤੇ ਇਸ ਵਿੱਚ ਸੰਚਿਤ ਊਰਜਾ, ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਨਿਰਮੁਕਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਆਓ, ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਧਾਰਨਾ ਨੂੰ ਇੱਕ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰੂਪ ਦਿੰਦੇ ਹਾਂ।

ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਦੇ ਨੇੜੇ m ਪੁੰਜ ਦੀ ਇੱਕ ਗੇਂਦ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਗੁਰੂਤਾਕਰਸ਼ਣ ਬਲ mg ਹੈ। g ਨੂੰ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਦੇ ਨੇੜੇ ਸਥਿਰ ਮੰਨਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਇੱਥੇ ਨੇੜਤਾ ਤੋਂ ਭਾਵ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਗੇਂਦ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਉਚਾਈ h, ਧਰਤੀ ਦੇ ਅਰਧ ਵਿਆਸ R_E ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਅਤਿ ਸੂਖਮ ਹੈ ($h << R_E$) ਇਸ ਲਈ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ g ਦੇ ਮਾਨ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ਦੀ ਉਪੇਖਿਆ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ।* ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਇੱਕ ਗੇਂਦ ਨੂੰ ਬਿਨਾਂ ਕੋਈ ਗਤੀ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕੀਤੇ h ਉਚਾਈ ਤੱਕ ਉੱਪਰ ਚੁੱਕਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਬਾਹਰੀ ਕਾਰਕ ਦੁਆਰਾ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ mgh ਹੋਵੇਗਾ। ਇਹ ਕਾਰਜ, ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਟੋਰ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ h ਉਚਾਈ ਤੇ ਗੁਰੂਤਵੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਉਸ ਪਿੰਡ ਨੂੰ h ਉਚਾਈ ਤੱਕ ਚੁੱਕਣ ਵਿੱਚ ਲੱਗੇ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦੇ ਰਿਣਾਤਮਕ ਮਾਨ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

$$V(h) = mgh$$

ਜੇ h ਨੂੰ ਪਰਿਵਰਤੀ ਲਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਇਹ ਸਰਲਤਾ ਨਾਲ ਦੇਖਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਕਿ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ F, h ਦੇ ਸਾਪੇਖ $V(h)$ ਦੇ ਰਿਣਾਤਮਕ ਅਵਕਲਨ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

$$F = \frac{-\mathrm{d}V(h)}{\mathrm{d}h} = -mg$$

ਇੱਥੇ ਰਿਣਾਤਮਕ ਚਿੰਨ੍ਹ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਗੁਰੂਤਾ-ਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਹੇਠਾਂ ਵੱਲ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਗੇਂਦ ਨੂੰ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਇਸ ਵੱਧਦੀ ਹੋਈ ਚਾਲ ਨਾਲ ਹੇਠਾਂ ਆਉਂਦੀ ਹੈ। ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਨਾਲ ਟੱਕਰ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਇਸਦੀ ਚਾਲ ਸ਼ੁੱਧ ਗਤਿਕੀ ਸੰਬੰਧ ਦੁਆਰਾ ਨਿਮਨ ਪ੍ਰਕਾਰ ਕੀਤੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

$$v^2 = 2gh$$

ਇਸ ਸਮੀਕਰਨ ਨੂੰ ਨਿਮਨ ਪ੍ਰਕਾਰ ਨਾਲ ਵੀ ਲਿਖਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ—

$$\frac{1}{2} m\, v^2 = mgh$$

ਜੋ ਇਹ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਜਦੋਂ ਪਿੰਡ ਨੂੰ ਮੁਕਤ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਪਿੰਡ ਦੀ h ਉਚਾਈ ਤੇ ਗੁਰੂਤਵੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਧਰਤੀ ਤੇ ਪੁੱਜਣ ਤੱਕ ਆਪਣੇ ਆਪ ਹੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।

ਕੁਦਰਤੀ ਨਿਯਮਾਂ ਅਨੁਸਾਰ, ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਧਾਰਨਾ ਸਿਰਫ਼ ਉਹਨਾਂ ਬਲਾਂ ਦੀ ਸ਼੍ਰੇਣੀ ਤੇ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਜਿੱਥੇ ਬਲ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ, ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਟੋਰ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਜੋ ਬਾਹਰੀ ਕਾਰਕਾਂ ਦੇ ਹੱਟ ਜਾਣ ਤੇ ਆਪਣੇ ਆਪ ਹੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਈ ਦਿੰਦਾ ਹੈ। ਗਣਿਤ ਅਨੁਸਾਰ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ $V(x)$ ਨੂੰ (ਸਰਲਤਾ ਦੇ ਲਈ ਇੱਕ ਵਿਮ ਵਿੱਚ) ਪਰਿਭਾਸ਼ਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਜੇ $F(x)$ ਬਲ ਨੂੰ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਲਿਖਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ—

$$F(x) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}x}$$

ਇਹ ਨਿਰੂਪਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ

$$\int_{x_i}^{x_f} F(x)\mathrm{d}x = -\int_{V_i}^{V_f} \mathrm{d}V = V_i - V_f$$

ਕਿਸੇ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ ਜਿਵੇਂ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਨ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਪਿੰਡ ਦੀ ਸਿਰਫ਼ ਅਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਸਥਿਤੀ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਪਿਛਲੇ ਪਾਠ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਢਾਲੂ ਸਮਤਲ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਉਦਾਹਰਨਾਂ ਦਾ ਅਧਿਐਨ

* g ਦਾ ਉਚਾਈ ਦੇ ਨਾਲ ਬਦਲਨਾ ਅਸੀਂ ਪਾਠ 8 ਵਿੱਚ ਦੱਸਾਂਗੇ।

ਕੀਤਾ ਸੀ। ਜੇ m ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਪਿੰਡ h ਉਚਾਈ ਦੇ ਚੀਕਣੇ (ਰਗੜ ਰਹਿਤ) ਢਾਲੂ ਤਲ ਦੇ ਸਭ ਤੋਂ ਉਚਾਈ ਵਾਲੇ ਬਿੰਦੂ (ਸਿਰਾ, top) ਤੋਂ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚੋਂ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਢਾਲੂ ਤਲ ਦੇ ਆਧਾਰ (bottom) ਤੇ ਇਸ ਦੀ ਚਾਲ, ਢਾਲੂ ਤਲ ਦੇ ਕੋਣ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕੀਤੇ ਬਿਨਾਂ $\sqrt{2gh}$ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਇੱਥੇ ਪਿੰਡ mgh ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਲੈਂਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜਾਂ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੂਸਰੇ ਕਾਰਕਾਂ, ਜਿਵੇਂ ਪਿੰਡ ਦੇ ਵੇਗ ਜਾਂ ਉਸ ਦੁਆਰਾ ਚਲਾਏ ਗਏ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਪੱਥ ਦੀ ਲੰਬਾਈ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਇਹ ਬਲ ਅਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ (non-conservative) ਬਲ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

ਕਾਰਜ ਜਾਂ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀਆਂ ਵਿਮਾਂ $[ML^2T^{-2}]$ ਅਤੇ SI ਮਾਤਰਕ ਜੂਲ (Joule) ਹੈ। ਯਾਦ ਰੱਖੋ ਕਿ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ (conservative force) ਦੇ ਲਈ, ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ΔV, ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਰਿਣਾਤਮਕ ਕਾਰਜ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

$$\Delta V = -F(x)\,\Delta x \qquad (6.9)$$

ਇਸ ਅਨੁਭਾਗ ਵਿੱਚ ਡਿਗਦੀ ਹੋਈ ਗੇਂਦ ਦੇ ਉਦਾਹਰਨ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਦੇਖਿਆ ਕਿ ਕਿਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਗੇਂਦ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਉਸ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਗਈ ਸੀ। ਇਹ ਯੰਤਰਿਕੀ ਵਿੱਚ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੇ ਮਹੱਤਵਪੂਰਨ ਸਿਧਾਂਤ ਵੱਲ ਸੰਕੇਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜਿਸ ਨੂੰ ਅਸੀਂ ਹੁਣ ਪਰਖਾਂਗੇ।

6.8 ਯੰਤਰਿਕੀ ਊਰਜਾ ਦਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ (The conservation of mechanical energy)

ਸਰਲਤਾ ਲਈ, ਅਸੀਂ ਇਸ ਮਹੱਤਵਪੂਰਨ ਸਿਧਾਂਤ ਦਾ ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਗਤੀ ਦੇ ਲਈ ਵਰਨਣ ਕਰ ਰਹੇ ਹਾਂ। ਮੰਨ ਲਉ ਕਿ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦਾ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ F ਦੇ ਕਾਰਨ ਵਿਸਥਾਪਨ Δx ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਤੋਂ ਕਿਸੇ ਬਲ F ਦੇ ਲਈ

$$\Delta K = F(x)\,\Delta x$$

ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ (Conservative force) ਦੇ ਲਈ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਫਲਨ (function) $V(x)$ ਨੂੰ ਨਿਮਨ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।

$$-\Delta V = F(x)\,\Delta x \qquad (6.9)$$

ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨ ਤੋਂ ਇਹ ਸੰਕੇਤ ਮਿਲਦਾ ਹੈ ਕਿ

$$\Delta K + \Delta V = 0$$

$$\Delta(K + V) = 0 \qquad (6.10)$$

ਇਸ ਦਾ ਅਰਥ ਹੈ ਕਿ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਗਤਿਜ ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਜੋੜਫਲ, $K + V$ ਸਥਿਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤੋਂ ਭਾਵ ਹੈ ਕਿ ਸੰਪੂਰਨ ਪੱਥ x_i ਤੋਂ x_f, ਦੇ ਲਈ

$$K_i + V(x_i) = K_f + V(x_i) \qquad (6.11)$$

ਇੱਥੇ ਰਾਸ਼ੀ $K + V(x)$, ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ (mechanical energy) ਕਹਾਉਂਦੀ ਹੈ। ਵੱਖੋ-ਵੱਖਰੇ ਤੌਰ 'ਤੇ, K ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ (kinetic energy) ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ $V(x)$ ਇੱਕ ਸਥਿਤੀ ਤੋਂ ਦੂਸਰੀ ਸਥਿਤੀ ਤੱਕ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਸਕਦੀ ਹੈ ਪਰ ਇਹਨਾਂ ਦਾ ਯੋਗਫਲ ਅਚਰ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਵੇਚਨ ਤੋਂ ਸ਼ਬਦ 'ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ' (conservative force) ਦੀ ਉਚਿਤਤਾ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਆਓ, ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਸੰਖੇਪ ਵਿੱਚ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ ਦੀਆਂ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਪਰਿਭਾਸ਼ਾਵਾਂ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰਦੇ ਹਾਂ।

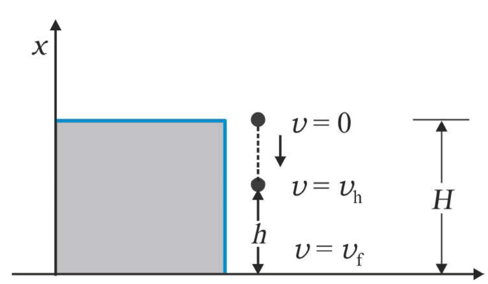
- ਕੋਈ ਬਲ $F(x)$ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਇਸ ਨੂੰ ਸਮੀਕਰਨ 6.9 ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਦੁਆਰਾ ਅਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ $V(x)$ ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਤਿੰਨ ਵਿਮੀ ਵਿਆਪੀਕਰਨ (three dimensional generalization) ਦੇ ਲਈ ਸਦਿਸ਼ ਅਵਕਲਜ ਵਿਧੀ (vector derivative) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਨੀ ਪੈਂਦੀ ਹੈ ਜੋ ਇਸ ਪੁਸਤਕ ਦੇ ਵਿਵੇਚਨਾ ਖੇਤਰ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਹੈ।
- ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲਾਂ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਸਿਰੇ ਦੇ ਬਿੰਦੂਆਂ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਜੋ ਨਿਮਨ ਸੰਬੰਧ ਤੋਂ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੈ :

  $W = K_f - K_i = V(x_i) - V(x_f)$
- ਤੀਸਰੀ ਪਰਿਭਾਸ਼ਾ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ, ਇਸ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਬੰਦ ਪਥ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਇੱਕ ਵਾਰ ਫਿਰ ਸਮੀਕਰਨ (6.11) ਤੋਂ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੈ, ਕਿਉਂਕਿ $x_i = x_f$ ਹੈ।

ਇਸ ਲਈ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਕਿਸੇ ਵੀ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸਥਿਰ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ ਜੇ ਉਸ ਤੇ ਕਾਰਜ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਬਲ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਹੋਣ।

ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਵੇਚਨਾ ਨੂੰ ਵਧੇਰੇ ਮੂਰਤ ਬਣਾਉਣ ਲਈ, ਇੱਕ ਵਾਰ ਫਿਰ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਦੇ ਉਦਾਹਰਨ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਅਤੇ ਸਪ੍ਰਿੰਗ ਬਲ ਦੇ ਉਦਾਹਰਨ ਤੇ ਅਗਲੇ ਅਨੁਭਾਗ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰਾਂਗੇ। ਚਿੱਤਰ 6.5, H ਉਚਾਈ ਦੀ ਕਿਸੇ ਚੱਟਾਨ ਤੋਂ ਸੁੱਟੇ, m ਪੁੰਜ ਦੀ ਗੇਂਦ ਦਾ ਚਿੱਤਰਣ ਕਰਦਾ ਹੈ।

ਗੇਂਦ ਦੀ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਉਚਾਈ, ਜ਼ੀਰੋ (ਭੂਮੀ ਤਲ), h ਅਤੇ H ਦੇ ਲਈ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾਵਾਂ ਕ੍ਰਮਵਾਰ E_0, E_h ਅਤੇ E_H ਹਨ।



ਚਿੱਤਰ 6.5 H ਉਚਾਈ ਦੀ ਕਿਸੇ ਚੱਟਾਨ ਤੋਂ ਸੁੱਟੀ ਗਈ, m ਪੁੰਜ ਦੀ ਗੇਂਦ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਬਦਲਣਾ।

$$E_H = mgH \quad (6.11\ a)$$

$$E_h = mgh + \frac{1}{2}mv_h^2 \quad (6.11\ b)$$

$$E_0 = (1/2)\, mv_f^2 \quad (6.11\ c)$$

ਸਥਿਰ ਬਲ, ਤਿੰਨ ਵਿਮ-ਨਿਰਭਰ ਬਲ $F(x)$ (spatially dependent force) ਦਾ ਇੱਕ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਉਦਾਹਰਨ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ

$$E_H = E_0$$

ਜਾਂ $$mgH = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$v_f = \sqrt{2gH}$$

ਉਪਰੋਕਤ ਪਰਿਣਾਮ ਅਨੁਭਾਗ 6.7 ਵਿੱਚ ਮੁਕਤ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਡਿਗਦੇ ਹੋਏ ਪਿੰਡ ਦੇ ਵੇਗ ਦੇ ਲਈ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਸੀ। ਇਸ ਤੋਂ ਇਲਾਵਾ

$$E_H = E_h$$

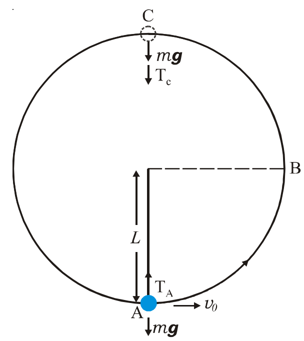
ਜੋ ਇਹ ਸੰਕੇਤ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ

$$v_h^2 = 2g(H-h) \quad (6.11\ d)$$

ਇਹ ਨਤੀਜਾ, ਸ਼ੁੱਧ ਗਤੀਕੀ ਦਾ ਇੱਕ ਜਾਣਿਆ-ਪਛਾਣਿਆ ਨਤੀਜਾ ਹੈ।

H ਉਚਾਈ ਤੇ, ਪਿੰਡ ਦੀ ਊਰਜਾ ਸਿਰਫ਼ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੈ। ਇਹ h ਉਚਾਈ ਤੇ ਅੰਸ਼ਿਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਤਬਦੀਲ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਭੂਮੀ ਤਲ ਤੇ ਪੂਰਨ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਉਪਰੋਕਤ ਉਦਾਹਰਨ, ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਦੇ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੇ ਸਿਧਾਂਤ ਨੂੰ ਸਪਸ਼ਟ ਕਰਦਾ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 6.7** m ਪੁੰਜ ਦਾ ਇੱਕ ਬੱਾਬ L ਲੰਬਾਈ ਦੀ ਹਲਕੀ ਡੋਰੀ ਨਾਲ ਲਟਕਿਆ ਹੋਇਆ ਹੈ। ਇਸਦੇ ਨਿਮਨਤਮ ਬਿੰਦੂ A ਤੇ ਖਿਤਜੀ ਵੇਗ v_o ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਲਗਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਇਹ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਤਲ ਵਿੱਚ ਅਰਧ ਚੱਕਰ ਆਕਾਰ ਦੇ ਪ੍ਰਖੇਪਕ ਪੱਥ (semi circular trajectory) ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਤੈਅ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਡੋਰੀ ਸਿਰਫ਼ ਸਭ ਤੋਂ ਉੱਚ ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਢਿੱਲੀ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 6.6 ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਨਿਮਨ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਲਈ ਵਿਅੰਜਕ (expression) ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰੋ (a) v_o; (b) ਬਿੰਦੂਆਂ B ਅਤੇ C ਤੇ ਬੱਾਬ ਦੀ ਚਾਲ ਅਤੇ; (c) ਬਿੰਦੂ B ਅਤੇ C ਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਅਨੁਪਾਤ (K_B/K_C) ਗੋਲਕ ਦੇ ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਪੁੱਜਣ ਦੇ ਬਾਦ ਪਥ ਦੀ ਪ੍ਰਕਿਰਤੀ ਤੇ ਟਿੱਪਣੀ ਕਰੋ।



ਚਿੱਤਰ 6.6

ਹੱਲ : (a) ਇੱਥੇ ਬੱਾਬ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਦੋ ਬਾਹਰੀ ਬਲ ਹਨ-ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਅਤੇ ਡੋਰੀ ਵਿੱਚ ਤਨਾਵ (T)। ਬਾਦ ਵਾਲਾ ਬਲ (ਤਨਾਵ) ਕੋਈ ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ ਹੈ ਕਿਉਂਕਿ ਬੱਾਬ ਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਡੋਰੀ ਦੇ ਲੰਬ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਬੱਾਬ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਸਿਰਫ਼ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਬਲ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੈ। ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਸੰਪੂਰਨ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ E ਸਥਿਰ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਸਭ ਤੋਂ ਨਿਚਲੇ ਬਿੰਦੂ A ਤੇ ਜ਼ੀਰੋ ਲੈ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ।

ਇਸ ਲਈ ਬਿੰਦੂ A ਤੇ

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (6.12)$$

$$T_A - mg = \frac{mv_0^2}{L}$$

[ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਗਤੀ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ]

ਇੱਥੇ T_A , ਬਿੰਦੂ A ਤੇ ਡੋਰੀ ਦਾ ਤਨਾਵ ਹੈ। ਸਭ ਤੋਂ ਉੱਚੇ ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਡੋਰੀ ਢਿੱਲੀ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ; ਇਸ ਲਈ ਇੱਥੇ ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਡੋਰੀ ਦਾ ਤਨਾਵ $T_C = 0$।

ਇਸ ਲਈ ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

$$E = \frac{1}{2}mv_c^2 + 2mgL \quad (6.13)$$

$$mg = \frac{mv_c^2}{L}$$ [ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ]

(6.14)

ਜਿੱਥੇ v_C ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਗੋਲਕ (Bob) ਦੀ ਚਾਲ ਹੈ। ਸਮੀਕਰਨ (6.13) ਅਤੇ (6.14) ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

$$E = \frac{5}{2}mgL$$

ਇਸ ਨੂੰ ਬਿੰਦੂ A ਤੇ ਊਰਜਾ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਰੱਖਣ ਤੇ

$$\frac{5}{2}mgL = \frac{m}{2}v_0^2$$

ਜਾਂ, $v_0 = \sqrt{5gL}$

(b) ਸਮੀਕਰਨ (6.14) ਤੋਂ ਇਹ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੈ ਕਿ

$$v_C = \sqrt{gL}$$

ਇਸ ਲਈ ਬਿੰਦੂ B ਤੇ ਊਰਜਾ ਹੈ।

$$E = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgL$$

ਇਸ ਨੂੰ ਬਿੰਦੂ A ਤੇ ਊਰਜਾ ਦੇ ਵਿਅੰਜਕ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਰੱਖਣ ਤੇ ਅਤੇ (*a*) ਦੇ ਨਤੀਜੇ $v_0^2 = 5gL$ ਨੂੰ ਵਰਤੋਂ ਵਿੱਚ ਲਿਆਉਣ ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ—

$$\frac{1}{2} m v_B^2 + mgL = \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$= \frac{5}{2} mgL$$

$$\therefore v_B = \sqrt{3gL}$$

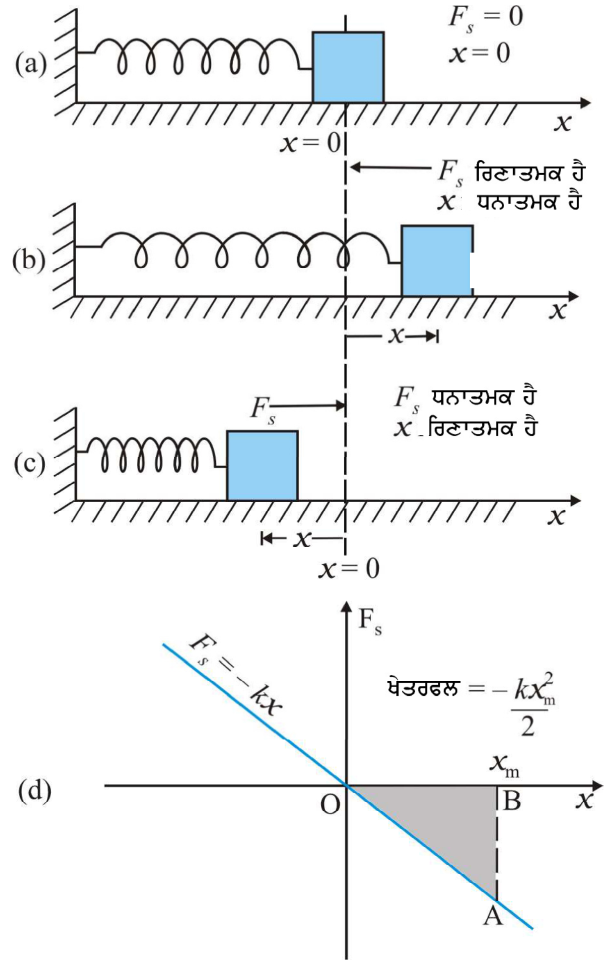
(c) ਬਿੰਦੂ B ਅਤੇ C ਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਅਨੁਪਾਤ

$$\frac{K_B}{K_C} = \frac{\frac{1}{2} m v_B^2}{\frac{1}{2} m v_C^2} = \frac{3}{1}$$

ਬਿੰਦੂ C ਤੇ ਡੋਰੀ ਢਿੱਲੀ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਗੋਲਕ (Bob) ਦਾ ਵੇਗ ਖੱਬੇ ਪਾਸੇ ਨੂੰ ਅਤੇ ਖਿਤਜੀ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਇਸ ਪਲ ਤੇ ਡੋਰੀ ਨੂੰ ਕੱਟ ਦਿੱਤਾ ਜਾਵੇ ਤਾਂ ਗੋਲਕ ਦਾ ਇੱਕ ਖਿਤਜੀ ਪ੍ਰੋਖੇਪ ਦੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਪ੍ਰਖੇਪੀ ਗਤੀ ਠੀਕ ਉਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦਰਸਾਏਗਾ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਖੜ੍ਹੀ ਚਟਾਨ ਤੋਂ ਖਿਤਜੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਕਿਸੇ ਪੱਥਰ ਨੂੰ ਸੁੱਟਣ ਤੇ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਨਹੀਂ ਤਾਂ ਗੋਲਕ ਲਗਾਤਾਰ ਆਪਣੇ ਚੱਕਰਾ ਕਾਰ ਪੱਥ ਤੇ ਗਤੀ ਕਰਦਾ ਰਹੇਗਾ ਅਤੇ ਚੱਕਰ ਪੂਰਾ ਕਰੇਗਾ। ◀

6.9 ਕਿਸੇ ਕਮਾਣੀ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ (The potential energy of a spring)

ਸਪਰਿੰਗ-ਬਲ ਇੱਕ ਪਰਿਵਰਤੀ ਬਲ ਦਾ ਉਦਾਹਰਨ ਹੈ ਜੋ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਚਿੱਤਰ 6.7 ਸਪਰਿੰਗ ਨਾਲ ਜੁੜੇ ਕਿਸੇ ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਦਰਸਾਉਂਦਾ ਹੈ ਜੋ ਕਿਸੇ ਚੀਕਣੀ ਖਿਤਜੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ ਦਾ ਦੂਸਰਾ ਸਿਰਾ ਕਿਸੇ ਦ੍ਰਿੜ ਕੰਧ ਨਾਲ ਜੁੜਿਆ ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ ਹਲਕਾ ਹੈ ਅਤੇ ਪੁੰਜ ਰਹਿਤ ਮੰਨਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ, ਕਿਸੇ ਆਦਰਸ਼ ਸਪਰਿੰਗ ਵਿੱਚ, ਸਪਰਿੰਗ-ਬਲ F_s, ਗੁਟਕੇ ਦਾ ਆਪਣੀ ਸੰਤੁਲਿਤ ਅਵਸਥਾ ਵਾਲੀ ਸਥਿਤੀ ਤੋਂ ਵਿਸਥਾਪਨ x ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਗੁਟਕੇ ਦਾ ਸੰਤੁਲਿਤ ਅਵਸਥਾ ਤੋਂ ਵਿਸਥਾਪਨ ਧਨਾਤਮਕ (positive) ਚਿੱਤਰ (6.7b) ਜਾਂ ਰਿਣਾਤਮਕ (Negative) ਚਿੱਤਰ (6.7c) ਹੋ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ ਦੇ ਲਈ ਬਲ ਦਾ ਨਿਯਮ, ਹੁੱਕ (Hooke's) ਦਾ ਨਿਯਮ ਕਹਾਉਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਗਣਿਤਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਵਿਅਕਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.7. ਕਿਸੇ ਸਪਰਿੰਗ ਦੇ ਮੁਕਤ ਸਿਰੇ ਨਾਲ ਜੁੜੇ ਹੋਏ ਗੁਟਕੇ ਤੇ ਸੰਪਰਿੰਗ ਬਲ ਦਾ ਚਿੱਤਰਣ

(*a*) ਜਦੋਂ ਮੱਧ ਸਥਿਤੀ ਤੋਂ ਵਿਸਥਾਪਨ x ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ ਤਾਂ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ F_s ਵੀ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ।

(*b*) ਖਿੱਚੇ ਹੋਏ ਸਪਰਿੰਗ ਲਈ $x > 0$ ਅਤੇ $F_s < 0$

(*c*) ਨਪੀੜੇ ਸਪਰਿੰਗ ਲਈ $x < 0$ ਅਤੇ $F_s > 0$

(*d*) F_s ਅਤੇ x ਦੇ ਵਿੱਚ ਖਿੱਚਿਆ ਗਿਆ ਆਲੇਖ।

ਛਾਇਆ (Shade) ਅੰਕਿਤ ਕੀਤੀ ਤ੍ਰਿਭੁਜ ਦਾ ਖੇਤਰਫਲ ਸਪਰਿੰਗ-ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਨੂੰ ਨਿਰੂਪਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ। F_s ਅਤੇ x ਦੇ ਉਲਟ ਚਿੰਨ੍ਹਾਂ ਦੇ ਕਾਰਨ, ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੈ,

$$W_s = \frac{-k x_m^2}{2}$$

$$F_s = -kx$$

ਇੱਥੇ ਸਥਿਰ ਅੰਕ k ਇੱਕ ਸਪਰਿੰਗ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਮਾਤਰਕ Nm^{-1} ਹੈ। ਜੇ k ਦਾ ਮਾਨ ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਸਪਰਿੰਗ ਨੂੰ ਦ੍ਰਿੜ (stiff) ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਜੇ k ਦਾ ਮਾਨ ਘੱਟ ਹੈ, ਤਾਂ ਇਸ ਨੂੰ ਨਰਮ (soft) ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

ਮੰਨ ਲਉ ਕਿ ਅਸੀਂ ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਬਾਹਰ ਵੱਲ, ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 6.7(*b*) ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ, ਧੀਮੀ ਸਥਿਰ ਚਾਲ ਨਾਲ ਖਿੱਚਦੇ ਹਾਂ। ਜੇ ਸਪਰਿੰਗ ਦਾ ਖਿਚਾਓ x_m, ਹੈ ਤਾਂ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$$W_s = \int_0^{x_m} F_s \, dx \quad = -\int_0^{x_m} kx \, dx$$

$$= -\frac{k\,x_m^2}{2} \qquad (6.15)$$

ਇਸ ਵਿਅੰਜਕ ਨੂੰ ਅਸੀਂ ਚਿੱਤਰ 6.7 (*d*) ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਏ ਗਏ ਤ੍ਰਿਭੁਜ ਦੇ ਖੇਤਰਫਲ ਤੋਂ ਵੀ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ ਬਾਹਰੀ ਖਿਚਾਓ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਧਨਾਤਮਕ ਹੈ।

$$W = +\frac{k\,x_m^2}{2} \qquad (6.16)$$

ਜੇ ਸਪਰਿੰਗ ਨੂੰ ਵਿਸਥਾਪਨ x_c (< 0) ਤੱਕ ਨਪੀੜਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਵੀ ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਅੰਜਕ ਸੱਚ ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ-ਬਲ $W_s = -kx_c^2/2$ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਬਾਹਰੀ ਬਲ F, $+kx_c^2/2$ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ।

ਜੇ ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਇਸਦੇ ਅਰੰਭਿਕ ਵਿਸਥਾਪਨ x_i ਤੋਂ ਅੰਤਿਮ ਵਿਸਥਾਪਨ x_f ਤੱਕ ਵਿਸਥਾਪਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ

$$W_s = -\int_{x_i}^{x_f} k\,x\,dx \quad = \frac{k\,x_i^2}{2} - \frac{k\,x_f^2}{2} \qquad (6.17)$$

ਇਸ ਲਈ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਸਿਰਫ਼ ਸਿਰੇ ਦੇ ਬਿੰਦੂਆਂ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਜਦੋਂ ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਸਥਿਤੀ x_i ਤੋਂ ਖਿੱਚਿਆ ਗਿਆ ਹੋਵੇ ਅਤੇ ਵਾਪਿਸ x_i ਸਥਿਤੀ ਤੱਕ ਆਉਣ ਦਿੱਤਾ ਗਿਆ ਹੋਵੇ ਤਾਂ

$$W_s = \int_{x_i}^{x_i} k\,x\,dx \quad = \frac{k\,x_i^2}{2} - \frac{k\,x_i^2}{2} = 0 \qquad (6.18)$$

ਇਸ ਲਈ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਚੱਕਰੀ ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਇੱਥੇ ਸਪੱਸ਼ਟ ਕਰ ਦਿੱਤਾ ਹੈ ਕਿ (*i*) ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਸਿਰਫ਼ ਸਥਿਤੀ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਹੁੱਕ (Hooke) ਦੁਆਰਾ ਪਹਿਲਾ ਕਿਹਾ ਗਿਆ ਹੈ। ($F_s = -kx$); (*ii*) ਇਹ ਬਲ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜੋ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਸਥਿਤੀਆਂ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ; ਉਦਾਹਰਨ ਲਈ, ਸਮੀਕਰਨ (6.17)। ਇਸ ਲਈ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਇੱਕ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ (Conservative force) ਹੈ।

ਜਦੋਂ ਗੁਟਕਾ ਸੰਤੁਲਿਤ ਅਵਸਥਾ (equilibrium) ਵਿੱਚ ਹੈ ਭਾਵ ਮੱਧ ਸਥਿਤੀ ਤੋਂ ਉਸਦਾ ਵਿਸਥਾਪਨ ਜ਼ੀਰੋ ਹੈ ਤਾਂ ਸਪਰਿੰਗ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ V(*x*) ਨੂੰ ਅਸੀਂ ਜ਼ੀਰੋ ਮੰਨਦੇ ਹਾਂ। ਕਿਸੇ ਖਿਚਾਓ (ਜਾਂ ਨਪੀੜਨ) *x* ਦੇ ਲਈ ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਸ਼ਲੇਸ਼ਨ ਤੋਂ ਪਤਾ ਲੱਗਦਾ ਹੈ ਕਿ

$$V(x) = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (6.19)$$

ਇਸ ਨੂੰ ਸੁਵਿਧਾਪੂਰਵਕ ਵੇਰੀਫਾਈ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਕਿ $\frac{-dV}{dx} = -kx$, ਜੋ ਕਿ ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਹੈ। ਜਦੋਂ *m* ਪੁੰਜ ਦੇ ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਚਿੱਤਰ 6.7 ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ x_m ਤੱਕ ਖਿੱਚਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਫਿਰ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ, ਤਾਂ ਇਸਦੀ ਸਾਰੀ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ, ਆਪਣੀ ਮਰਜ਼ੀ ਨਾਲ ਚੁਣੀ ਗਈ ਕਿਸੇ ਵੀ ਸਥਿਤੀ *x* ਤੇ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਦਿੱਤੀ ਜਾਵੇਗੀ, ਜਿੱਥੇ *x* ਦਾ ਮਾਨ $-x_m$ ਤੋਂ $+x_m$, ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਹੈ—

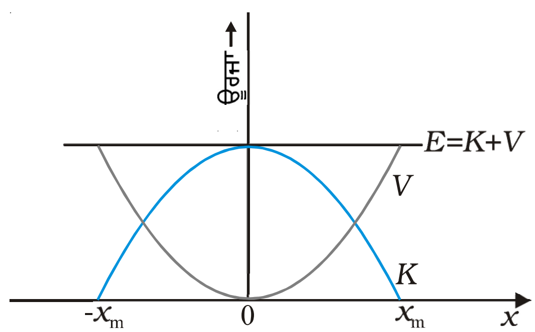
$$\frac{1}{2}k\,x_m^2 = \frac{1}{2}k\,x^2 + \frac{1}{2}m\,v^2$$

ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਦੇ ਸੁਰੱਖਿਅਨ ਨਿਯਮ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕੀਤੀ ਹੈ। ਇਸ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਗੁਟਕੇ ਦੀ ਚਾਲ v_m ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਸੰਤੁਲਿਤ $x = 0$ ਤੇ ਅਧਿਕਤਮ ਹੋਵੇਗੀ, ਅਰਥਾਤ

$$\frac{1}{2}m\,v_m^2 = \frac{1}{2}k\,x_m^2$$

ਜਾਂ $$v_m = \sqrt{\frac{k}{m}}\,x_m$$

ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ *k*/*m* ਦੀਆਂ ਵਿਮਾਂ $[T^{-2}]$ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ ਸਮੀਕਰਨ ਵਿਮੀ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਹੀ ਹੈ। ਇੱਥੇ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ, ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਅਤੇ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ, ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ, ਐਪਰ, ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ। ਚਿੱਤਰ 6.8 ਵਿੱਚ ਇਸਦਾ ਗ੍ਰਾਫ਼ ਬਣਾ ਕੇ ਨਿਰੂਪਣ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.8 ਕਿਸੇ ਸਪਰਿੰਗ ਨਾਲ ਜੁੜੇ ਹੋਏ ਗੁਟਕੇ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ V ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ K ਦੇ ਪੈਰਾਬੋਲਿਕ ਗ੍ਰਾਫ਼ (Parabolic graph) ਜੋ ਹੁੱਕ ਦੇ ਨਿਯਮ ਦਾ ਪਾਲਣ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਇਹ ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਦੇ ਪੂਰਕ ਹਨ ਅਰਥਾਤ ਇਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਇੱਕ ਘੱਟਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਦੂਸਰਾ ਵੱਧਦਾ ਹੈ, ਪਰ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ E = K + V ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਸਥਿਰ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 6.8** ਕਾਰ ਦੁਰਘਟਨਾ ਨੂੰ ਦਿਖਾਉਣ ਲਈ ਮੋਟਰ ਕਾਰ ਨਿਰਮਾਤਾ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਸਪਰਿੰਗ ਸਥਿਰ ਅੰਕਾਂ ਦੇ ਸਪਰਿੰਗਾਂ ਦਾ ਫਰੇਮ ਚੜ੍ਹਾ ਕੇ ਚਲਦੀਆਂ ਹੋਈਆਂ ਕਾਰਾਂ ਦੀਆਂ ਟੱਕਰਾਂ ਦਾ ਅਧਿਐਨ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਮੰਨ ਲਓ ਕਿਸੇ ਪ੍ਰਤੀਕਾਤਮਕ ਅਨੁਰੂਪਨ ਵਿੱਚ ਕੋਈ 1000kg ਪੁੰਜ ਦੀ ਕਾਰ ਇੱਕ ਚਿਕਣੀ ਸੜਕ ਤੇ 18km/h ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਚੱਲਦੇ ਹੋਏ, ਖਿਤਜੀ ਫਰੇਮ ਤੇ ਚੜ੍ਹਾਏ ਗਏ ਸਪਰਿੰਗ ਨਾਲ ਟੱਕਰ ਕਰਦੀ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਸਪਰਿੰਗ ਸਥਿਰ ਅੰਕ 6.25×10^3 N m^{-1} ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ ਦਾ ਅਧਿਕਤਮ ਨਪੀੜਨ ਕੀ ਹੋਵੇਗਾ ?

ਹੱਲ : ਕਾਰ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅਧਿਕਤਮ ਨਪੀੜਨ ਤੇ ਸੰਪੂਰਨ ਰੂਪ ਨਾਲ ਸਪਰਿੰਗ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਕਾਰ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ —

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}\times 10^3 \times 5 \times 5$$

$$K = 1.25 \times 10^4 \text{ J}$$

ਇੱਥੇ ਕਾਰ ਦੀ ਚਾਲ 18 km h^{-1} ਨੂੰ ਇਸਦੇ SI ਮਾਨ 5 m s^{-1} ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਕਰ ਦਿੱਤਾ ਗਿਆ ਹੈ। **[ਇੱਥੇ ਇਹ ਧਿਆਨ ਰੱਖਣ ਯੋਗ ਹੈ ਕਿ 36 km h^{-1} = 10 m s^{-1}]** ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਅਧਿਕਤਮ ਨਪੀੜਨ x_m ਤੇ ਸਪਰਿੰਗ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ (V) , ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਕਾਰ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ K ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ

$$V = \frac{1}{2}k\,x_m^2$$

$$= 1.25 \times 10^4 \text{ J}$$

ਹੱਲ ਕਰਨ ਤੇ ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ

$$x_m = 2.00 \text{ m}$$

ਧਿਆਨ ਦਿਉ ਕਿ ਇਸ ਸਥਿਤੀ ਨੂੰ ਅਸੀਂ ਆਦਰਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਸਤੁਤ ਕੀਤਾ ਹੈ। ਇੱਥੇ ਸਪਰਿੰਗ ਨੂੰ ਪੁੰਜ ਰਹਿਤ ਮੰਨਿਆ ਹੈ ਅਤੇ ਸੜਕ ਦਾ ਰਗੜ ਨਕਾਰਨਯੋਗ ਹੈ।

ਅਸੀਂ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲਾਂ ਤੇ ਕੁਝ ਟਿੱਪਣੀ ਕਰਦੇ ਹੋਏ ਇਸ ਅਨੁਭਾਗ ਦਾ ਸਮਾਪਨ ਕਰਦੇ ਹਾਂ—

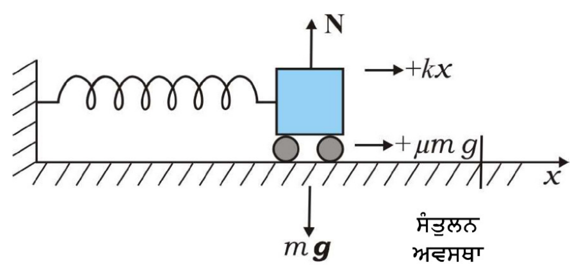
(i) ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਵੇਚਨਾ ਵਿੱਚ ਸਮੇਂ ਦੇ ਵਿਸ਼ੇ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਸੂਚਨਾ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਇਸ ਉਦਾਹਰਨ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਨਪੀੜਨ ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ ਪਰ ਉਸ ਸਮੇਂ ਅੰਤਰਾਲ ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਨਹੀਂ ਕਰ ਸਕਦੇ ਜਿਸ ਵਿੱਚ ਇਹ ਨਪੀੜਨ ਹੋਇਆ ਹੈ।
ਇਸ ਲਈ ਸਮੇਂ ਦੀ ਸੂਚਨਾ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਨ ਲਈ ਇਸ ਸਿਸਟਮ ਦੇ ਲਈ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦੇ ਹੱਲ ਦੀ ਲੋੜ ਹੈ।

(ii) ਸਾਰੇ ਬਲ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੇ। ਉਦਾਹਰਨ ਵਜੋਂ, ਰਗੜ ਇੱਕ ਅਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ ਹੈ। ਇਸ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ, ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਵਿੱਚ ਕੁੱਝ ਸੋਧ ਕਰਨੀ ਪਵੇਗੀ। ਇਸ ਨੂੰ ਉਦਾਹਰਨ 6.9 ਵਿੱਚ ਸਪੱਸ਼ਟ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।

(iii) ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਜ਼ੀਰੋ ਆਪਣੀ ਮਰਜੀ ਨਾਲ ਲਿਆ ਗਿਆ ਹੈ ਜਿਸ ਨੂੰ ਸਹੂਲਤ ਅਨੁਸਾਰ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਕਰ ਲਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਦੇ ਲਈ $x = 0$, ਤੇ ਅਸੀਂ $V = 0$ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ, ਅਰਥਾਤ ਬਿਨਾਂ ਖਿੱਚੇ ਸਪਰਿੰਗ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਜ਼ੀਰੋ ਸੀ। ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਬਲ mg ਦੇ ਲਈ ਅਸੀਂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਤੇ V = 0 ਲਿਆ ਸੀ। ਅਗਲੇ ਪਾਠ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਦੇਖਾਂਗੇ ਕਿ ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਦੇ ਸਰਵ-ਵਿਆਪਕ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ ਬਲ ਦੇ ਲਈ, ਗੁਰੂਤਾਆਕਰਸ਼ਣ ਸਰੋਤ ਤੋਂ ਅਨੰਤ ਦੂਰੀ ਤੇ ਜ਼ੀਰੋ ਦੀ ਪਰਿਭਾਸ਼ਾ ਸਭ ਤੋਂ ਵਧੀਆ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ, ਕਿਸੇ ਵਿਵੇਚਨਾ ਵਿੱਚ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਲਈ ਇੱਕ ਵਾਰ ਜ਼ੀਰੋ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਕਰਨ ਤੋਂ ਬਾਦ, ਸ਼ੁਰੂ ਤੋਂ ਅੰਤ ਤੱਕ ਵਿਵੇਚਨਾ ਵਿੱਚ ਉਸੇ ਨਿਯਮ ਦੀ ਪਾਲਨਾ ਕਰਨੀ ਚਾਹੀਦੀ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ 6.9** ਉਦਾਹਰਨ 6.8 ਵਿੱਚ ਰਗੜ ਗੁਣਾਂਕ μ ਦਾ ਮਾਨ 0.5 ਲੈ ਕੇ ਕਮਾਣੀ ਦੇ ਅਧਿਕਤਮ ਨਪੀੜਨ ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਸਪਰਿੰਗ ਬਲ ਅਤੇ ਰਗੜ ਬਲ, ਦੋਵੇਂ ਹੀ ਨਪੀੜਨ ਦਾ ਵਿਰੋਧ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਸੰਯੁਕਤ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਕਾਰਜ ਕਰਦੇ ਹਨ, ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 6.9 ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.9 ਕਿਸੇ ਕਾਰ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ।

ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੇ ਸਿਧਾਂਤ ਦੀ ਥਾਂ ਤੇ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਦੇ ਹਾਂ—

ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ਹੈ।

$$\Delta K = K_f - K_i = 0 - \frac{1}{2}m\,v^2$$

ਕੁੱਲ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਲਗਾਇਆ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।

$$W = -\frac{1}{2}\,kx_m^2 - \mu m\,g\,x_m$$

ΔK ਅਤੇ W ਨੂੰ ਬਰਾਬਰ ਕਰਨ ਤੇ ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ।

$$\frac{1}{2}m\,v^2 = \frac{1}{2}k\,x_m^2 + \mu m\,g\,x_m$$

ਇੱਥੇ $\mu mg = 0.5 \times 10^3 \times 10 = 5 \times 10^3$ N (g =10.0 m s^{-2} ਲੈਣ ਤੇ) ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨ ਨੂੰ ਵਿਵਸਥਿਤ ਕਰਨ ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਅਗਿਆਤ x_m ਦੇ ਲਈ ਹੇਠ ਲਿਖੀ ਦੋ ਘਾਤੀ ਸਮੀਕਰਨ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ—

$$k\,x_m^2 + 2\mu m\,g\,x_m - m\,v^2 = 0$$

$$x_m = \frac{-\mu mg + \left[\mu^2 m^2 g^2 + m\,k\,v^2\right]^{1/2}}{k}$$

ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ x_m ਧਨਾਤਮਕ ਹੋਣ ਦੇ ਕਾਰਨ ਇਸਦਾ ਧਨਾਤਮਕ ਵਰਗਮੂਲ ਲੈ ਲਿਆ ਹੈ। ਅੰਕਿਤ ਮਾਨਾਂ ਨੂੰ ਸਮੀਕਰਨ ਵਿੱਚ ਭਰਨ ਤੇ ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ—

$$x_m = 1.35 \text{ m}$$

ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਉਮੀਦ ਸੀ ਉਦਾਹਰਨ 6.8 ਪ੍ਰਾਪਤ ਨਤੀਜੇ ਤੋਂ ਘੱਟ ਹੈ।

ਜੇ ਮੰਨ ਲਈਏ ਕਿ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਦੋਨੋਂ ਬਲਾਂ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ F_c ਅਤੇ ਦੂਸਰਾ ਅਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ F_{nc} ਹੈ ਤਾਂ ਯਾਂਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੇ ਸੂਤਰ ਵਿੱਚ ਕੁੱਝ ਸੋਧ ਕਰਨੀ ਪਵੇਗੀ।

ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਤੋਂ

$$(F_c + F_{nc})\,\Delta x = \Delta K$$

ਪਰ $\quad F_c\,\Delta x = -\Delta V$

ਇਸ ਲਈ $\quad \Delta(K + V) = F_{nc}\Delta x$

$$\Delta E = F_{nc}\Delta x$$

ਇੱਥੇ E ਕੁੱਲ ਯਾਂਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਹੈ। ਸਾਰੇ ਪੱਥ ਤੇ ਇਹ ਨਿਮਨ ਰੂਪ ਲੈ ਲੈਂਦੀ ਹੈ।

$$E_f - E_i = W_{nc}$$

ਇੱਥੇ W_{nc} ਅਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਪੱਥ ਤੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕੁੱਲ ਕਾਰਜ ਹੈ। ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ W_{nc}, i ਤੋਂ f ਤੱਕ ਇੱਕ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਪੱਥ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ ਵਿੱਚ ਨਹੀਂ ਹੈ। ◀

6.10 ਊਰਜਾ ਦੇ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਰੂਪ : ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਨ ਦਾ ਨਿਯਮ (Various forms of energy : The law of conservation of energy)

ਪਿਛਲੇ ਸੈਕਸ਼ਨ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਯਾਂਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਦੀ ਵਿਵੇਚਨਾ ਕੀਤੀ ਅਤੇ ਇਹ ਪਾਇਆ ਕਿ ਇਸ ਨੂੰ ਦੋ ਸ਼੍ਰੇਣੀਆਂ ਵਿੱਚ ਵੰਡਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਪਹਿਲੀ ਗਤੀ ਤੇ ਆਧਾਰਿਤ ਹੈ ਅਰਥਾਤ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਅਤੇ ਦੂਸਰੀ ਰੂਪ-ਆਕਾਰ ਜਾਂ ਸਥਿਤੀ ਤੇ ਆਧਾਰਿਤ ਅਰਥਾਤ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ। ਊਰਜਾ ਬਹੁਤ ਰੂਪਾਂ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ ਇੱਕ ਰੂਪ ਤੋਂ ਦੂਸਰੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਕਈ ਵਿਧੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਜੋ ਅਕਸਰ ਸਾਨੂੰ ਵੀ ਕਦੇ-ਕਦੇ ਸਪੱਸ਼ਟ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੇ।

6.10.1 ਤਾਪ (Heat)

ਅਸੀਂ ਪਹਿਲਾਂ ਹੀ ਦੇਖ ਚੁੱਕੇ ਹਾਂ ਕਿ ਰਗੜ ਬਲ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਪਰ ਕਾਰਜ, ਰਗੜ ਬਲ ਨਾਲ Ã¿ Ģå þ (ÀÇÅÕé 6.5)। ਕੋਈ m ਪੁੰਜ ਦਾ ਗੁਟਕਾ ਖੁਰਦਰੀ (rough) ਖਿਤਜੀ ਸਤਹਿ ਤੇ v_0 ਚਾਲ ਨਾਲ ਫਿਸਲਦਾ ਹੋਇਆ x_0 ਦੂਰੀ ਚੱਲ ਕੇ ਰੁੱਕ ਜਾਂਦਾ ਹੈ x_0 ਤੇ ਗਤਿਜ ਰਗੜ ਬਲ f ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ $-f\,x_0$ ਹੈ। ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਤੋਂ $\frac{1}{2}m\,v_o^2 = f\,x_0$ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਅਸੀਂ ਆਪਣੇ ਵਿਸ਼ਾ ਖੇਤਰ ਨੂੰ ਯੰਤਰਕੀ ਤੱਕ ਹੀ ਸੀਮਿਤ ਰਖੀਏ ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਕਹਾਂਗੇ ਕਿ ਗੁਟਕੇ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ, ਦਾ ਰਗੜ ਬਲ ਦੇ ਕਾਰਨ ਖੈ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਮੇਜ਼ ਅਤੇ ਗੁਟਕੇ ਦਾ ਪਰੀਖਣ ਕਰਨ ਤੇ ਸਾਨੂੰ ਪਤਾ ਚਲੇਗਾ ਕਿ ਇਹਨਾਂ ਦਾ ਤਾਪ ਮਾਮੂਲੀ ਜਿਹਾ ਵੱਧ ਗਿਆ ਹੈ। ਰਗੜ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਖੈ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਬਲਕਿ ਇਹ ਰਗੜ ਬਲ ਤਾਪ ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਮੇਜ਼ ਅਤੇ ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਸਥਾਨਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਗਿਆ ਹੈ ਜੋ ਗੁਟਕੇ ਅਤੇ ਮੇਜ਼ ਦੀ ਆਂਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਨੂੰ ਵਧਾ ਦਿੰਦਾ ਹੈ। ਸਰਦੀਆਂ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਆਪਣੀਆਂ ਹਥੇਲੀਆਂ ਨੂੰ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਜ਼ੋਰ ਨਾਲ ਰਗੜ ਕੇ ਤਾਪ ਪੈਦਾ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਅਸੀਂ ਬਾਅਦ ਵਿੱਚ ਦੇਖਾਂਗੇ ਕਿ ਆਂਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਅਕਸਰ ਅਣੂਆਂ ਦੀ ਲਗਾਤਾਰ, ਬੇਤਰਤੀਬੀ (random) ਗਤੀ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੈ। ਤਾਪ ਊਰਜਾ ਦੇ ਸਥਾਨਾਂਤਰਨ ਦੀ ਪਰਿਮਾਣਤਮਿਕ ਧਾਰਨਾ ਇਸ ਤੱਥ ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ ਹੈ ਕਿ 1kg ਪਾਣੀ 10°C ਠੰਡਾ ਹੋਣ ਤੇ 42000 J ਊਰਜਾ ਮੁਕਤ ਕਰਦਾ ਹੈ।

6.10.2 ਰਸਾਇਣਿਕ ਊਰਜਾ (Chemical Energy)

ਮਨੁੱਖ ਜਾਤੀ ਨੇ ਬਹੁਤ ਮਹਾਨ ਤਕਨੀਕੀ ਸਫ਼ਲਤਾ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕੀਤੀ ਜਦੋਂ ਇਹ ਪਤਾ ਲਗਾਇਆ ਕਿ ਅੱਗ ਨੂੰ ਕਿਵੇਂ ਬਾਲਿਆ ਅਤੇ ਕਾਬੂ ਕੀਤਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਦੋ ਫਲਿੰਟ ਪੱਥਰਾਂ ਨੂੰ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਰਗੜਨਾ (ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ), ਉਹਨਾਂ ਨੂੰ ਗਰਮ ਹੋਣ ਦੇਣਾ ਅਤੇ ਪੱਤਿਆਂ ਦੇ ਢੇਰ ਨੂੰ ਸੁਲਗਾਨਾ (ਰਸਾਇਣਿਕ ਊਰਜਾ) ਬਾਰੇ ਸਿੱਖਿਆ ਜਿਸ ਕਾਰਨ ਅਸੀਂ ਲਗਾਤਾਰ ਤਾਪ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਸਕੇ। ਮਾਚਿਸ ਦੀ ਇੱਕ ਤੀਲੀ ਜਦੋਂ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਤਿਆਰ ਕੀਤੀ ਗਈ ਰਸਾਇਣਿਕ ਸਤਹਿ ਤੇ ਰਗੜੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਇਹ ਇੱਕ ਚਮਕੀਲੀ ਜਵਾਲਾ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਬਲਣ ਲੱਗਦੀ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਸੁਲਗਾਈ ਗਈ ਮਾਚਿਸ ਦੀ ਤੀਲੀ ਪਟਾਕੇ ਨੂੰ ਲਗਾਈ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਉਸਦੇ ਨਤੀਜੇ ਵਜੋਂ ਧੁਨੀ ਅਤੇ ਪ੍ਰਕਾਸ਼ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦਾ ਸ਼ਾਨਦਾਰ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਨ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

ਰਸਾਇਣਿਕ ਊਰਜਾ, ਰਸਾਇਣਿਕ ਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਹਿੱਸਾ ਲੈਣ ਵਾਲੇ ਅਣੂਆਂ ਦੀਆਂ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਬੰਧਨ ਊਰਜਾਵਾਂ ਦੇ ਕਾਰਨ ਪੈਦਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇੱਕ ਸਥਿਰ ਰਸਾਇਣਿਕ ਯੌਗਿਕ ਦੀ ਊਰਜਾ ਇਸਦੇ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਅੰਸ਼ਾਂ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਘੱਟ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਰਸਾਇਣਿਕ ਕਿਰਿਆ ਮੁੱਖ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪਰਮਾਣੂਆਂ ਦੀ ਪੁਨਰ

ਵਿਵਸਥਾ ਹੈ। ਜੇ ਅਭਿਕਾਰਕਾਂ (reactants) ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ, ਉਤਪਾਦਾਂ (products) ਦੀ ਊਰਜਾ ਤੋਂ ਵੱਧ ਹੈ ਤਾਂ ਤਾਪ ਮੁਕਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਅਰਥਾਤ ਕਿਰਿਆ **ਤਾਪਨਿਕਾਸੀ (exothermic)** ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਜੇ ਇਸ ਦੇ ਉਲਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਤਾਪ ਊਰਜਾ ਸੋਖਿਤ ਹੋਵੇਗੀ ਅਰਥਾਤ ਕਿਰਿਆ ਤਾਪਸੋਖੀ (endothermic) ਹੋਵੇਗੀ। ਕੋਲੇ ਵਿੱਚ ਕਾਰਬਨ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸਦੇ 1kg ਦੇ ਦਹਿਣ ਨਾਲ 3×10^7 J ਊਰਜਾ ਮੁਕਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਰਸਾਇਣਿਕ ਊਰਜਾ ਉਹਨਾਂ ਬਲਾਂ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਜੋ ਪਦਾਰਥਾਂ ਨੂੰ ਸਥਿਰਤਾ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਇਹ ਬਲ ਪਰਮਾਣੂਆਂ ਨੂੰ ਅਣੂਆਂ ਵਿੱਚ ਅਤੇ ਅਣੂਆਂ ਨੂੰ ਪਾਲੀਮੇਰਿਕ (Polymeric) ਲੜੀ ਆਦਿ ਵਿੱਚ ਬੰਨ੍ਹ ਦਿੰਦੇ ਹਨ। ਕੋਲਾ, ਕੁਕਿੰਗ ਗੈਸ, ਲੱਕੜੀ ਅਤੇ ਪੈਟਰੋਲੀਅਮ ਦੇ ਦਹਿਨ ਤੋਂ ਪੈਦਾ ਰਸਾਇਣਿਕ ਊਰਜਾ ਸਾਡੇ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਹੋਂਦ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਹੈ।

6.10.3 ਬਿਜਲਈ ਊਰਜਾ (Electrical Energy)

ਬਿਜਲਈ ਧਾਰਾ ਦੇ ਪ੍ਰਵਾਹ ਦੇ ਕਾਰਨ ਬਿਜਲਈ ਬਲਬ ਜਗ ਜਾਂਦੇ ਹਨ, ਪੱਖੇ ਘੁੰਮਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਘੰਟੀਆਂ ਵੱਜਦੀਆਂ ਹਨ। ਚਾਰਜਾਂ ਦੇ ਆਕਰਸ਼ਣ-ਪ੍ਰਤਿਆਕਰਸ਼ਣ ਸੰਬੰਧੀ ਨਿਯਮਾਂ ਅਤੇ ਬਿਜਲਈ ਧਾਰਾ ਦੇ ਵਿਸ਼ੇ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਬਾਅਦ ਵਿੱਚ ਸਿੱਖਾਂਗੇ। ਊਰਜਾ ਬਿਜਲਈ ਧਾਰਾ ਨਾਲ ਵੀ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇੱਕ ਭਾਰਤੀ ਸ਼ਹਿਰੀ ਪਰਿਵਾਰ ਲਗਭਗ 200J/s ਊਰਜਾ ਦਾ ਉਪਭੋਗ ਕਰਦਾ ਹੈ।

6.10.4 ਪੁੰਜ-ਊਰਜਾ ਤੁੱਲਤਾ (The Equivalence of Mass and Energy)

ਉਨ੍ਹੀਂਵੀ ਸਦੀ ਦੇ ਅੰਤ ਤੱਕ ਭੌਤਿਕ ਵਿਗਿਆਨੀਆਂ ਦਾ ਵਿਸ਼ਵਾਸ ਸੀ ਕਿ ਹਰੇਕ ਭੌਤਿਕ ਅਤੇ ਰਸਾਇਣਿਕ ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਅਲੱਗ-ਅਲੱਗ ਸਿਸਟਮ (isolated system) ਦਾ ਪੁੰਜ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਪਦਾਰਥ ਆਪਣੀ ਅਵਸਥਾ (Phase) ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਕਰ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਉਦਾਹਰਨ ਲਈ, ਹਿਮਾਨੀ ਬਰਫ਼ (glacial ice) ਪਿਘਲ ਕੇ ਇੱਕ ਵਗਦੀ ਨਦੀ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਬਦਲ ਸਕਦੀ ਹੈ ਪਰ ਪਦਾਰਥ ਜਾਂ ਮਾਦਾ ਨਾ ਤੇ ਪੈਦਾ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਨਾ ਹੀ ਨਸ਼ਟ। ਐਪਰ, ਅਲਬਰਟ (Albert Einstein) ਆਈਨਸਟੀਨ (1879-1955) ਨੇ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕੀਤਾ ਕਿ ਪੁੰਜ ਅਤੇ ਊਰਜਾ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਦੇ ਤੁੱਲ ਹੁੰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਸਮੀਕਰਨ ਦੁਆਰਾ ਸੰਬੰਧਿਤ ਹੁੰਦੇ ਹਨ—

$$E = mc^2 \qquad (6.20)$$

ਸਾਰਣੀ 6.3 ਵੱਖ-ਵੱਖ ਵਰਤਾਰਿਆਂ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਲਗਭਗ ਊਰਜਾ

ਵਰਨਣ	ਊਰਜਾ (ਹ)
ਬਿਗ ਬੈਂਗ ਵਿੱਚ ਨਿਕਲੀ ਊਰਜਾ	10^{68}
ਅਕਾਸ਼ ਗੰਗਾ ਦੁਆਰਾ ਆਪਣੇ ਜੀਵਨ ਕਾਲ ਵਿੱਚ ਉਤਸਰਜਿਤ ਊਰਜਾ	10^{55}
ਅਕਾਸ਼ ਗੰਗਾ ਦੀ ਘੁੰਮਣ ਊਰਜਾ	10^{52}
ਸੁਪਰਨੋਵਾ ਵਿਸਫੋਟ ਵਿੱਚੋਂ ਨਿਕਲੀ ਊਰਜਾ	10^{44}
ਧਰਤੀ ਦੀ ਘੁੰਮਣ ਊਰਜਾ	10^{34}
ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ ਦੇ ਨੇੜੇ ਸਲਾਨਾ ਪੌਣ ਊਰਜਾ ਖੈ	10^{29}
ਮਨੁੱਖ ਦੁਆਰਾ ਸੰਸਾਰ ਵਿੱਚ ਵਰਤੀ ਗਈ ਸਲਾਨਾ ਊਰਜਾ	5×10^{24}
ਜਵਾਰਭਾਟਾ ਦੁਆਰਾ ਸਲਾਨਾ ਊਰਜਾ ਖੈ	10^{22}
15 ਮੈਗਾਟਨ ਸੰਯੋਜਨ ਬੰਬ ਦੁਆਰਾ ਪੈਦਾ ਊਰਜਾ	3×10^{20}
ਕਿਸੇ ਵੱਡੇ ਬਿਜਲੀ ਉਤਪਾਦਕ ਪਲਾਂਟ ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਊਰਜਾ	10^{20}
ਲਿਸ਼ਕਦੀ ਬਿਜਲੀ	10^{15}
1000kg ਕੋਲੇ ਦੇ ਦਹਿਨ ਤੋਂ ਪੈਦਾ ਊਰਜਾ	3×10^{10}
ਕਿਸੇ ਵੱਡੇ ਜੈੱਟ ਵਿਮਾਨ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ	10^{9}
1 ਲੀਟਰ ਗੈਸੋਲੀਨ ਦੇ ਦਹਿਨ ਤੋਂ ਪੈਦਾ ਊਰਜਾ	3×10^{7}
ਕਿਸੇ ਬਾਲਗ ਮਨੁੱਖ ਦੀ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਖੁਰਾਕ ਸਮਰੱਥਾ	10^{7}
ਮਨੁੱਖੀ ਦਿਲ ਦੁਆਰਾ ਇੱਕ ਧੜਕਣ ਲਈ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ	0.5
ਕਿਸੇ ਪੁਸਤਕ ਦੇ ਪੰਨੇ ਪਲਟਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ	10^{-3}
ਪਿੱਸੂ ਦਾ ਫੁਦਕਨਾ	10^{-7}
ਕਿਸੇ ਨਿਊਰਾਨ ਵਿਸਰਜਨ ਵਿੱਚ ਜ਼ਰੂਰੀ ਊਰਜਾ	10^{-10}
ਕਿਸੇ ਨਾਭਿਕ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰੋਟਾਨ ਦੀ ਵਿਸ਼ਿਸ਼ਟ ਊਰਜਾ	10^{-13}
ਕਿਸੇ ਪਰਮਾਣੂ ਵਿੱਚ ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਵਿਸ਼ਿਸ਼ਟ ਊਰਜਾ	10^{-18}
ਡੀ. ਐਨ. ਏ. ਦੇ ਇੱਕ ਬੰਧਨ ਨੂੰ ਤੋੜਨ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਊਰਜਾ	10^{-20}

ਜਿੱਥੇ c, ਨਿਰਵਾਯੂ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਕਾਸ਼ ਦੀ ਚਾਲ ਹੈ ਜੋ ਲਗਭਗ 3×10^8 m s^{-1} ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਸਿਰਫ਼ ਇੱਕ ਕਿਲੋਗ੍ਰਾਮ ਪਦਾਰਥ ਤੋਂ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਊਰਜਾ ਦੀ ਮਾਤਰਾ ਅਚੰਭਿਤ ਕਰ ਦੇਣ ਵਾਲੀ ਹੈ।

$$E = 1\times (3 \times 10^8)^2 \text{ J}$$
$$E = 9 \times 10^{16} \text{ J}$$

ਇਹ ਇੱਕ ਬਹੁਤ ਵੱਡੇ ਪੈਮਾਨੇ ਤੇ ਬਿਜਲੀ ਪੈਦਾ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਬਿਜਲੀ ਘਰ ਦੇ ਸਲਾਨਾ ਉਤਪਾਦਨ (3000 MW) ਦੇ ਤੁੱਲ ਹੈ।

6.10.5 ਨਾਭਿਕੀ ਊਰਜਾ (Nuclear Energy)

ਇੱਕ ਪਾਸੇ ਜਿੱਥੇ ਮਨੁੱਖ ਜਾਤੀ ਦੁਆਰਾ ਬਣਾਏ ਬਹੁਤ ਹੀ ਵਿਨਾਸ਼ਕਾਰਕ ਨਿਊਕਲੀਅਰ ਹਥਿਆਰ, ਵਿਖੰਡਨ (fission) ਅਤੇ ਸੰਯੋਜਨ (fusion) ਬੰਬ ਉਪਰੋਕਤ ਪੁੰਜ ਊਰਜਾ ਤੁੱਲਤਾ (ਸਮੀਕਰਨ (6.20)) ਸੰਬੰਧ ਦੀ ਅਭਿਵਿਅਕਤੀ ਹੈ, ਉੱਥੇ ਦੂਸਰੇ ਪਾਸੇ ਸੂਰਜ ਦੁਆਰਾ ਉਤਪਾਦਿਤ ਜੀਵਨ-ਪੋਸ਼ਣ ਕਰਨ ਵਾਲੀ ਊਰਜਾ ਦੀ ਵਿਆਖਿਆ ਵੀ ਉਪਰੋਕਤ ਸਮੀਕਰਨ ਤੇ ਹੀ ਆਧਾਰਿਤ ਹੈ। ਇਸ ਵਿੱਚ ਹਾਈਡਰੋਜਨ ਦੇ ਚਾਰ ਹਲਕੇ ਨਾਭਿਕਾਂ ਦੇ ਸੰਯੋਜਨ ਦੁਆਰਾ ਇੱਕ ਹੀਲੀਅਮ ਨਾਭਿਕ ਬਣਦਾ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਪੁੰਜ ਹਾਈਡਰੋਜਨ ਦੇ ਚਾਰੋਂ ਨਾਭਿਕਾਂ ਦੇ ਕੁੱਲ ਪੁੰਜ ਤੋਂ ਘੱਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਪੁੰਜ-ਅੰਤਰ Δm, ਜਿਸ ਨੂੰ ਪੁੰਜ ਤਰੁੱਟੀ (mass defect) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ, ਊਰਜਾ $(\Delta m)c^2$ ਦਾ ਸਰੋਤ ਹੈ। ਵਿਖੰਡਣ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਭਾਰੀ ਅਸਥਾਈ ਨਾਭਿਕ, ਜਿਵੇਂ ਯੂਰੇਨੀਅਮ $(^{235}_{92}U)$, ਇੱਕ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਬੰਬਾਰੀ ਦੁਆਰਾ ਹਲਕੇ ਨਾਭਿਕਾਂ ਵਿੱਚ ਟੁੱਟ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਵੀ ਅੰਤਿਮ ਪੁੰਜ, ਅਰੰਭਿਕ ਪੁੰਜ ਤੋਂ ਘੱਟ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਇਹ ਪੁੰਜ ਤਰੁੱਟੀ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਊਰਜਾ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਨਿਯੰਤਰਿਤ ਨਾਭਿਕੀ ਵਿਖੰਡਨ ਕਿਰਿਆ ਤੇ ਆਧਾਰਿਤ ਨਾਭਿਕੀ ਸ਼ਕਤੀ ਪਲਾਂਟ (Nuclear power plant) ਦੁਆਰਾ ਬਿਜਲਈ ਊਰਜਾ ਉਪਲਬਧ ਕਰਾਉਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਸਹੀ ਅਰਥਾਂ ਵਿੱਚ ਕਿਸੇ ਰਸਾਇਣਿਕ ਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚੋਂ ਮੁਕਤ ਊਰਜਾ ΔE ਨੂੰ ਪੁੰਜ ਤਰੁੱਟੀ $\Delta m = \Delta E/c^2$ ਨਾਲ ਵੀ ਜੋੜਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਐਪਰ, ਕਿਸੇ ਰਸਾਇਣਿਕ ਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਪੁੰਜ ਤਰੁੱਟੀ, ਨਾਭਿਕੀ ਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਹੋਣ ਵਾਲੀ ਪੁੰਜ-ਤਰੁੱਟੀ ਤੋਂ ਬਹੁਤ ਹੀ ਘੱਟ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ *6.10*** ਸਾਰਣੀ 6.1 ਤੋਂ 6.3 ਤੱਕ ਦਾ ਪਰੀਖਣ ਕਰੋ ਅਤੇ ਦੱਸੋ (a) ਡੀ. ਐਨ.ਏ. ਦੇ ਇੱਕ ਬੰਧਨ ਨੂੰ ਤੋੜਨ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਊਰਜਾ (ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਵੋਲਟ ਵਿੱਚ); (b) ਹਵਾ ਦੇ ਇੱਕ ਅਣੂ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ (10^{-21} J) ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਵੋਲਟ ਵਿੱਚ (c) ਕਿਸੇ ਬਾਲਗ ਮਨੁੱਖ ਦਾ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਆਹਾਰ (ਕਿਲੋ ਕੈਲੋਰੀ ਵਿੱਚ)

ਹੱਲ : (a) ਡੀ. ਐਨ. ਏ. ਦੇ ਇੱਕ ਬੰਧਨ ਨੂੰ ਤੋੜਨ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਊਰਜਾ ਹੈ—

$$\frac{10^{-20}}{1.6\times 10^{-19}\text{ J/eV}} \simeq 0.06 \text{ eV}$$

ਧਿਆਨ ਦਿਓ 0.1 eV = 100 meV (100 ਮਿਲੀ ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਵੋਲਟ)

(b) ਹਵਾ ਦੇ ਅਣੂ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੈ—

$$\frac{10^{-21}\text{J}}{1.6\times 10^{-19}\text{ J/eV}} \simeq 0.0062 \text{ eV}$$

ਇਹ 6.2 meV ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

(c) ਬਾਲਗ ਮਨੁੱਖ ਦੀ ਔਸਤ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਭੋਜਨ ਦੀ ਖਪਤ ਹੈ—

$$\frac{10^{7}\text{ J}}{4.2\times 10^{3}\text{ J/kcal}} \simeq 2400 \text{ kcal}$$

ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ ਅਖ਼ਬਾਰਾਂ ਅਤੇ ਰਸਾਲਿਆਂ ਦੇ ਆਮ ਭਰਮ-ਭੁਲੇਖੇ ਵੱਲ ਧਿਆਨ ਦਿਵਾਉਂਦੇ ਹਾਂ। ਇਹ ਭੋਜਨ ਦੀ ਮਾਤਰਾ ਦਾ ਕੈਲੋਰੀ ਵਿੱਚ ਉਲੇਖ ਕਰਦੇ ਹਨ ਅਤੇ ਸਾਨੂੰ 2400 ਕੈਲੋਰੀ ਤੋਂ ਘੱਟ ਖੁਰਾਕ ਲੈਣ ਦਾ ਸੁਝਾਓ ਦਿੰਦੇ ਹਨ। ਜੋ ਉਹਨਾਂ ਨੂੰ ਕਹਿਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ। ਉਹ ਕਿਲੋ ਕੈਲੋਰੀ (kcal) ਹੈ, ਨਾ ਕਿ ਕੈਲੋਰੀ 2400 ਕੈਲੋਰੀ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਉਪਭੋਗ ਕਰਨ ਵਾਲਾ ਵਿਅਕਤੀ ਜਲਦੀ ਭੁੱਖਾ ਮਰ ਜਾਵੇਗਾ। 1 ਭੋਜਨ ਕੈਲੋਰੀ ਆਮ ਕਰਕੇ 1 ਕਿਲੋ ਕੈਲੋਰੀ ਹੀ ਹੈ। ◀

6.10.6 ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦਾ ਸਿਧਾਂਤ (The Principle of Conservation of Energy)

ਅਸੀਂ ਇਹ ਦੇਖਿਆ ਹੈ ਕਿ ਕਿਸੇ ਵੀ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ ਜੇ ਇਸ ਤੇ ਕਾਰਜ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਬਲ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਹੋਣ। ਜੇ ਕਾਰਜ ਕਰ ਰਹੇ ਕੁਝ ਬਲ ਅਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਹਨ ਤਾਂ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਦਾ ਕੁਝ ਅੰਸ਼ ਦੂਸਰੇ ਰੂਪਾਂ ਜਿਵੇਂ-ਤਾਪ, ਪ੍ਰਕਾਸ਼ ਅਤੇ ਧੁਨੀ ਊਰਜਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਐਪਰ, ਊਰਜਾ ਦੇ ਸਾਰੇ ਰੂਪਾਂ ਦਾ ਧਿਆਨ ਰੱਖਣ ਤੇ ਅਸੀਂ ਇਹ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਅਲੱਗ-ਥਲੱਗ (isolated) ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀ। ਊਰਜਾ ਇੱਕ ਰੂਪ ਤੋਂ ਦੂਸਰੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਸਕਦੀ ਹੈ ਪਰੰਤੂ ਕਿਸੇ ਅਲੱਗ-ਥਲੱਗ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀ। ਊਰਜਾ ਇੱਕ ਰੂਪ ਤੋਂ ਦੂਸਰੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਸਕਦੀ ਹੈ ਪਰ ਕਿਸੇ ਅਲੱਗ-ਥਲੱਗ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ। ਊਰਜਾ ਨਾ ਤਾਂ ਪੈਦਾ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਨਾ ਹੀ ਨਸ਼ਟ।

ਕਿਉਂਕਿ ਸਾਰੇ ਵਿਸ਼ਵ ਨੂੰ ਇੱਕ ਅਲੱਗ-ਥਲੱਗ ਸਿਸਟਮ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਦੇਖਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਇਸ ਲਈ ਵਿਸ਼ਵ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਸਥਿਰ ਹੈ। ਜੇ ਵਿਸ਼ਵ ਦੇ ਇੱਕ ਹਿੱਸੇ ਵਿੱਚ ਊਰਜਾ ਦੀ ਹਾਣੀ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਦੂਸਰੇ ਹਿੱਸੇ ਵਿੱਚ ਬਰਾਬਰ ਮਾਤਰਾ ਵਿੱਚ ਊਰਜਾ ਦਾ ਵਾਧਾ ਹੋਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ।

ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਸਿਧਾਂਤ ਨੂੰ ਸਿੱਧ ਨਹੀਂ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਐਪਰ, ਇਸ ਸਿਧਾਂਤ ਦੇ ਉਲੰਘਨ ਦੀ ਕੋਈ ਸਥਿਤੀ ਸਾਹਮਣੇ ਨਹੀਂ ਆਈ ਹੈ। ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੀ ਧਾਰਨਾ ਅਤੇ ਵੱਖ-

ਵੱਖ ਰੂਪਾਂ ਵਿੱਚ ਊਰਜਾ ਦੇ ਰੂਪਾਂਤਰਨ ਨੇ ਤੌਤਿਕੀ, ਰਸਾਇਣ ਵਿਗਿਆਨ ਅਤੇ ਜੀਵ ਵਿਗਿਆਨ ਆਦਿ ਵਿਗਿਆਨਾਂ ਦੀਆਂ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਸ਼ਾਖਾਵਾਂ ਨੂੰ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਜੋੜਿਆ ਹੋਇਆ ਹੈ। ਇਹ ਵਿਗਿਆਨਿਕ ਖੋਜਾਂ ਵਿੱਚ ਏਕੀਕਰਨ ਅਤੇ ਸਥਿਰਤਾ ਦੇ ਤੱਤ ਨੂੰ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਇੰਜੀਨੀਅਰੀ ਦੀ ਦ੍ਰਿਸ਼ਟੀ ਤੋਂ ਸਾਰੇ ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨਿਕ, ਸੰਚਾਰ ਅਤੇ ਯਾਂਤਰਿਕੀ ਤੇ ਆਧਾਰਿਤ ਯੰਤਰ, ਊਰਜਾ ਰੂਪਾਂਤਰਨ ਦੇ ਕਿਸੇ ਨਾ ਕਿਸੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦੇ ਹਨ।

6.11 ਸ਼ਕਤੀ (POWER)

ਅਕਸਰ ਸਿਰਫ਼ ਇਹ ਜਾਣਨਾ ਹੀ ਕਾਫ਼ੀ ਨਹੀਂ ਹੈ ਕਿ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਕਿੰਨਾ ਕਾਰਜ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਬਲਕਿ ਇਹ ਜਾਣਨਾ ਵੀ ਜ਼ਰੂਰੀ ਹੈ ਕਿ ਇਹ ਕਾਰਜ ਕਿਸ ਦਰ ਤੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ। ਅਸੀਂ ਕਹਿੰਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਵਿਅਕਤੀ ਸਰੀਰਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਮਰੱਥ ਹੈ ਜੇ ਉਹ ਸਿਰਫ਼ ਕਿਸੇ ਚਾਰ ਮੰਜ਼ਿਲਾ ਇਮਾਰਤ ਦੀ ਚੌਥੀ ਮੰਜ਼ਿਲ ਤੱਕ ਚੜ੍ਹਦਾ ਹੀ ਨਹੀਂ ਬਲਕਿ ਤੇਜੀ ਨਾਲ ਚੜ੍ਹਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਸ਼ਕਤੀ (Power) ਨੂੰ ਉਸ ਸਮੇਂ ਦਰ ਨਾਲ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਜਿਸ ਨਾਲ ਕਾਰਜ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਜਾਂ ਊਰਜਾ ਸਥਾਨਾਂਤਰਿਤ ਹੋਈ। ਕਿਸੇ ਬਲ ਦੀ ਔਸਤ ਸ਼ਕਤੀ ਉਸ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ W ਅਤੇ ਉਸ ਵਿੱਚ ਲਗੇ ਸਮੇਂ t ਦੇ ਅਨੁਪਾਤ ਵਿੱਚ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਇਸ ਲਈ

$$P_{av} = \frac{W}{t}$$

ਤਤਕਾਲੀ ਸ਼ਕਤੀ (instantaneous power) ਨੂੰ ਔਸਤ ਸ਼ਕਤੀ ਦੇ ਸੀਮਾਂਤ ਮਾਨ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਜਦੋਂ ਕਿ ਸਮੇਂ ਦਾ ਅੰਤਰਾਲ ਦੋ ਨੇੜੇ ਹੋ ਰਿਹਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਅਰਥਾਤ

$$P = \frac{dW}{dt} \tag{6.21}$$

ਜਿੱਥੇ ਵਿਸਥਾਪਨ $d\mathbf{r}$ ਵਿੱਚ ਬਲ **F** ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ $dW = \mathbf{F}.d\mathbf{r}$ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਤਤਕਾਲੀ ਸ਼ਕਤੀ ਨੂੰ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਅਨੁਸਾਰ ਵਿਅਕਤ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ—

$$P = \mathbf{F}.\frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

$$= \mathbf{F}.\mathbf{v} \tag{6.22}$$

ਇੱਥੇ **v** ਤਤਕਾਲੀ ਵੇਗ (instantaneous velocity) ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਬਲ **F** ਹੈ।

ਕਾਰਜ ਅਤੇ ਊਰਜਾ ਦੀ ਤਰ੍ਹਾਂ ਸ਼ਕਤੀ ਵੀ ਇੱਕ ਸਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ। ਇਸਦਾ SI ਮਾਤਰਕ ਵਾਟ (W) ਅਤੇ ਵਿਮਾਂ $[ML^2T^{-3}]$ ਹਨ। 1W ਦਾ ਮਾਨ $1Js^{-1}$ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਅਠਾਰ੍ਹਵੀਂ ਸਦੀ ਵਿੱਚ ਭਾਪ ਇੰਜਣ ਦੇ ਖੋਜਕਾਰਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਇੱਕ ਖੋਜਕਾਰ ਜੇਮਸ ਵਾਟ ਦੇ ਨਾਂ ਤੇ ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ ਮਾਤਰਕ ਵਾਟ (W) ਰੱਖਿਆ ਗਿਆ ਹੈ।

ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ ਬਹੁਤ ਪੁਰਾਣਾ ਮਾਤਰਕ ਘੋੜ ਸ਼ਕਤੀ (horse-power) ਹੈ।

1 ਘੋੜ ਸ਼ਕਤੀ (hp) = 746 W

ਇਹ ਮਾਤਰਕ ਅੱਜ ਵੀ ਕਾਰ, ਮੋਟਰਸਾਈਕਲ ਆਦਿ ਦੀ ਆਊਟਪੁਟ (output) ਸਮਰੱਥਾ ਨੂੰ ਵਿਅਕਤ ਕਰਨ ਦੇ ਲਈ ਵਰਤਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

ਜਦੋਂ ਅਸੀਂ ਬਿਜਲਈ ਉਪਕਰਨਾਂ; ਜਿਵੇਂ- ਬਿਜਲਈ ਬਲਬ, ਹੀਟਰ ਅਤੇ ਫ਼ਰਿੱਜ ਆਦਿ ਖਰੀਦਦੇ ਹਾਂ ਤਾਂ ਅਸੀਂ ਮਾਤਰਕ ਵਾਟ ਨਾਲ ਵਿਵਹਾਰ ਕਰਨਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇੱਕ 100 ਵਾਟ ਦਾ ਬਲਬ 10 ਘੰਟੇ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਕਿਲੋਵਾਟ ਘੰਟਾ ਬਿਜਲਈ ਊਰਜਾ ਦੀ ਖਪਤ ਕਰਦਾ ਹੈ।

ਅਰਥਾਤ 100 ਵਾਟ × 10 ਘੰਟਾ
= 1000 ਵਾਟ ਘੰਟਾ
=1 ਕਿੱਲੋਵਾਟ-ਘੰਟਾ (kWh)
$= 10^3$ (W) × 3600 (s)
$= 3.6 \times 10^6$ J

ਬਿਜਲਈ ਊਰਜਾ ਦੀ ਖਪਤ ਦੇ ਲਈ ਮੁੱਲ, ਮਾਤਰਕ kWh ਵਿੱਚ ਚੁਕਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਜਿਸ ਨੂੰ ਆਮ ਕਰਕੇ 'ਯੂਨਿਟ' ਦੇ ਨਾਮ ਨਾਲ ਪੁਕਾਰਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ kWh ਊਰਜਾ ਦਾ ਮਾਤਰਕ ਹੈ ਨਾ ਕਿ ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ *6.11*** ਕੋਈ ਲਿਫ਼ਟ ਜਿਸ ਦਾ ਕੁੱਲ ਪੁੰਜ (ਲਿਫ਼ਟ + ਯਾਤਰੀਆਂ ਦਾ) 1800kg ਹੈ, ਉੱਪਰ ਵੱਲ $2\ ms^{-1}$ ਦੀ ਸਥਿਰ ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਹੈ। 4000 N ਦਾ ਰਗੜ ਬਲ ਇਸ ਦੀ ਗਤੀ ਦਾ ਵਿਰੋਧ ਕਰਦਾ ਹੈ ਲਿਫ਼ਟ ਨੂੰ ਮੋਟਰ ਦੁਆਰਾ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ ਆਕਲਨ ਵਾਟ ਅਤੇ ਘੁੜ ਸ਼ਕਤੀ ਵਿੱਚ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਲਿਫ਼ਟ ਤੇ ਹੇਠਾਂ ਵੱਲ ਨੂੰ ਲੱਗਣ ਵਾਲਾ ਬਲ

$F = mg + Ff = (1800 \times 10) + 4000 = 22000$ N

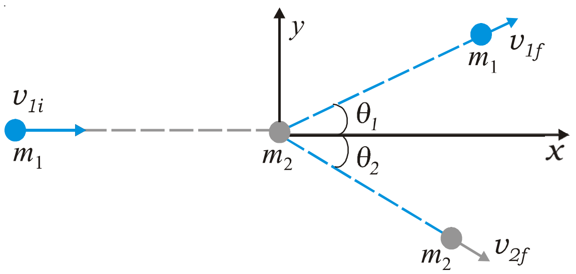
ਇਸ ਬਲ ਨੂੰ ਸੰਤੁਲਿਤ ਕਰਨ ਲਈ ਮੋਟਰ ਦੁਆਰਾ ਕਾਫ਼ੀ ਸ਼ਕਤੀ ਦੀ ਆਪੂਰਤੀ ਕੀਤੀ ਜਾਣੀ ਚਾਹੀਦੀ ਹੈ।

ਇਸ ਲਈ $P = \mathbf{F}.\ \mathbf{v} = 22000 \times 2 = 44000$ W = 59 hp ◀

6.12 ਟੱਕਰਾਂ (Collisions)

ਭੌਤਿਕੀ ਵਿੱਚ ਅਸੀਂ ਗਤੀ (ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ) ਦਾ ਅਧਿਐਨ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਨਾਲ ਹੀ ਨਾਲ ਅਸੀਂ ਅਜਿਹੀਆਂ ਭੌਤਿਕ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਦੀ ਖੋਜ ਕਰਦੇ ਹਾਂ ਜੋ ਕਿਸੇ ਭੌਤਿਕ ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ। ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਅਤੇ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੇ ਨਿਯਮ ਇਸਦੇ ਵਧੀਆ ਉਦਾਹਰਨ ਹਨ। ਇਸ ਸੈਕਸ਼ਨ ਵਿੱਚ, ਅਸੀਂ ਇਹਨਾਂ ਨਿਯਮਾਂ ਨੂੰ ਇੱਕ ਆਮ ਹੋਣ ਵਾਲੇ ਵਰਤਾਰੇ (phenomenon), ਜਿਸ ਨੂੰ 'ਟੱਕਰ ਹੋਣਾ' (collision) ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤੇ ਲਾਗੂ ਕਰਾਂਗੇ। ਵੱਖ-ਵੱਖ ਖੇਡਾਂ, ਜਿਵੇਂ— ਬਿਲਿਅਰਡ, ਮਾਰਬਲ ਜਾਂ ਕੈਰਮ ਆਦਿ ਵਿੱਚ ਟੱਕਰ ਹੋਣਾ ਇੱਕ ਜ਼ਰੂਰੀ ਘਟਕ ਹੈ। ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਦੋ ਪੁੰਜਾਂ ਦਾ ਆਦਰਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਟੱਕਰ ਹੋਣ ਦਾ ਅਧਿਐਨ ਕਰਾਂਗੇ।

ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਦੋ ਪੁੰਜ m_1 ਅਤੇ m_2 ਹਨ ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚ ਪੁੰਜ m_1 ਚਾਲ v_{1i} ਨਾਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਹੈ ਜਿੱਥੇ ਪੈਰ ਵਿੱਚ ਲਿਖੇ 'i' ਤੋਂ ਭਾਵ ਅਰੰਭਿਕ ਚਾਲ ਨੂੰ ਦੱਸਣਾ ਹੈ। ਦੂਸਰਾ ਪੁੰਜ m_2 ਸਥਿਰ ਹੈ। ਇਸ ਨਿਰਦੇਸ਼ ਫਰੇਮ ਦੀ ਚੋਣ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਵਿਆਪਕਤਾ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਕਮੀ ਨਹੀਂ ਆਉਂਦੀ ਇਸ ਫਰੇਮ ਵਿੱਚ ਪੁੰਜ m_1, ਪੁੰਜ m_2 ਤੋਂ ਜੋ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿਚ ਹੈ, ਟਕਰਾਉਂਦਾ ਹੈ ਜੋ ਚਿੱਤਰ 6.10 ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ. 6.10 ਕਿਸੇ ਪੁੰਜ m_1 ਦਾ ਹੋਰ ਕਿਸੇ ਸਥਿਰ ਪੁੰਜ m_2 ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਣਾ

ਟੱਕਰ ਤੋਂ ਬਾਦ ਪੁੰਜ m_1 ਅਤੇ m_2 ਵੱਖ-ਵੱਖ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਗਤੀ ਕਰਦੇ ਹਨ। ਅਸੀਂ ਦੇਖਾਂਗੇ ਕਿ ਪੁੰਜਾਂ, ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਵੇਗਾਂ ਅਤੇ ਕੋਣਾਂ ਵਿਚ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਸੰਬੰਧ ਹੈ।

6.12.1 ਲਚਕਦਾਰ ਅਤੇ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ (Elastic and Inelastic Collision)

ਸਾਰੀਆਂ ਟੱਕਰਾਂ ਵਿੱਚ ਸਿਸਟਮ ਦਾ ਕੁੱਲ ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ (total linear momentum) ਨਿਸ਼ਚਿਤ (constant) ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ ਅਰਥਾਤ ਸਿਸਟਮ ਦਾ ਆਰੰਭਿਕ ਸੰਵੇਗ ਉਸਦੇ ਅੰਤਿਮ ਸੰਵੇਗ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ ਨਿਮਨ ਪ੍ਰਕਾਰ ਨਾਲ ਸਿੱਧ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਦੋ ਪਿੰਡ ਟੱਕਰ ਕਰਦੇ ਹਨ ਤਾਂ ਟਕਰਾਉਣ ਦੇ ਸਮੇਂ Δt ਵਿੱਚ ਉਹਨਾਂ ਤੇ ਲੱਗ ਰਿਹਾ ਆਪਸੀ ਆਵੇਗੀ ਬਲ (mutual impulsive force), ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਆਪਸੀ ਸੰਵੇਗਾਂ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ਲਿਆਉਣ ਦਾ ਕਾਰਨ ਹੁੰਦੇ ਹਨ।

ਅਰਥਾਤ :–

$$\Delta \mathbf{p}_1 = \mathbf{F}_{12} \ \Delta t$$
$$\Delta \mathbf{p}_2 = \mathbf{F}_{21} \ \Delta t$$

ਇੱਥੇ $\mathbf{F}_{12}$ ਦੂਸਰੇ ਪਿੰਡ ਦੁਆਰਾ ਪਹਿਲੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ $\mathbf{F}_{21}$ ਪਹਿਲੇ ਪਿੰਡ ਦੁਆਰਾ ਦੂਸਰੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਬਲ ਹੈ। ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਗਤੀ ਨਿਯਮ ਦੇ ਤੀਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ, $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਦਰਸਾਉਂਦਾ ਹੈ ਕਿ

$$\Delta \mathbf{p}_1 + \Delta \mathbf{p}_2 = \mathbf{0}$$

ਜੇ ਬਲ ਟੱਕਰ ਹੋਣ ਸਮੇਂ Δt ਦੇ ਦੌਰਾਨ ਗੁੰਝਲਦਾਰ ਰੂਪ ਨਾਲ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਰਹੇ ਹੋਣ ਤਾਂ ਵੀ ਉਪਰੋਕਤ ਨਤੀਜਾ ਸੱਚ ਹੈ। ਕਿਉਂਕਿ ਨਿਊਟਨ ਦਾ ਤੀਸਰਾ ਨਿਯਮ ਹਰੇਕ ਪਲ ਤੇ ਸੱਚ ਹੈ ਇਸ ਲਈ ਪਹਿਲੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗਿਆ ਕੁੱਲ ਆਵੇਗ, ਦੂਸਰੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲਗੇ ਆਵੇਗ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਪਰ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋਵੇਗਾ।

ਦੂਸਰੇ ਪਾਸੇ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਜ਼ਰੂਰੀ ਨਹੀਂ ਕਿ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹੇ। ਟੱਕਰ ਦੌਰਾਨ ਰੂਪ ਵਿਗਾੜ, ਤਾਪ ਅਤੇ ਧੁਨੀ ਪੈਦਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਅਰੰਭਿਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦਾ ਕੁਝ ਅੰਸ਼ ਊਰਜਾ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਰੂਪਾਂ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਟੱਕਰ ਦੌਰਾਨ ਰੂਪ ਵਿਗਾੜ ਨੂੰ ਸਮਝਣ ਲਈ ਅਸੀਂ 'ਨਪੀੜਤ ਸਪਰਿੰਗ' ਦੀ ਉਦਾਹਰਨ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ। ਜੇ ਉਪਰੋਕਤ ਦੋਵੇਂ ਪੁੰਜਾਂ ਨੂੰ ਜੋੜਨ ਵਾਲੀ 'ਸਪ੍ਰਿੰਗ' ਬਿਨਾਂ ਕਿਸੇ ਊਰਜਾ ਹਾਣੀ ਦੇ ਆਪਣੀ ਮੂਲ ਆਕ੍ਰਿਤੀ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਲੈਂਦੀ ਹੈ, ਤਾਂ ਆਰੰਭਿਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ, ਅੰਤਿਮ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੋਵੇਗੀ ਪਰ ਟੱਕਰ ਸਮੇਂ Δt ਦੌਰਾਨ ਇਹ ਸਥਿਰ ਨਹੀਂ ਰਹੇਗੀ। ਅਜਿਹੀ ਟੱਕਰ ਨੂੰ **ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ (elastic collision)** ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਦੂਸਰੇ ਪਾਸੇ ਜੇ ਪਿੰਡਾਂ ਵਿੱਚ ਪੈਦਾ ਹੋਇਆ ਰੂਪ ਵਿਗਾੜ ਦੂਰ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਅਤੇ ਦੋਵੇਂ ਪਿੰਡ ਟੱਕਰ ਤੋਂ ਬਾਅਦ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਚਿਪਕੇ ਰਹਿ ਕੇ ਗਤੀ ਕਰਨ ਤਾਂ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੀ ਟੱਕਰ ਨੂੰ ਪੂਰਨ ਤੌਰ 'ਤੇ **ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ (completely inelastic collision)** ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਇਸ ਤੋਂ ਇਲਾਵਾ ਵਿਚਕਾਰਲੀ ਸਥਿਤੀ ਆਮ ਕਰਕੇ ਦੇਖਣ ਨੂੰ ਮਿਲਦੀ ਹੈ ਜਦੋਂ ਰੂਪ ਵਿਗਾੜ ਅੰਸ਼ਿਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਘੱਟ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਆਰੰਭਿਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਅੰਸ਼ਿਕ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਹਾਣੀ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ ਆਮ ਕਰਕੇ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ **(inelastic collision)** ਕਿਹਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

6.12.2 ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਟੱਕਰ (Collisions in One Dimension)

ਸਭ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਅਸੀਂ ਕਿਸੇ ਪੂਰਨ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਗੈਰ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ (**completely inelastic collision**) ਦਾ ਇੱਕ ਵਿਮ ਵਿੱਚ ਅਧਿਐਨ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਚਿੱਤਰ 6.10 ਤੋਂ,

$$\theta_1 = \theta_2 = 0$$
$$m_1 v_{1i} = (m_1 + m_2) v_f \quad \text{(ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਨ)}$$

$$v_f = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} \tag{6.23}$$

ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਟੱਕਰ ਕਾਰਨ ਹੋਈ ਹਾਣੀ

$$\Delta K = \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2) v_f^2$$

$$= \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 - \frac{1}{2} \frac{m_1^2}{m_1 + m_2} v_{1i}^2$$

[(6.23) ਸਮੀਕਰਨ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ]

$$= \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 \left[1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}^2$$

ਜੋ ਕਿ ਜਿਵੇਂ ਸੋਚਿਆ ਸੀ ਧਨਾਤਮਕ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ।

ਆਓ, ਹੁਣ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਦਾ ਅਧਿਐਨ ਕਰਦੇ ਹਾਂ। ਉਪਰੋਕਤ ਨਾਮਕਰਨ (nomenclature) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ $\theta_1 = \theta_2 = 0$ ਲੈਣ ਤੇ, ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੀ ਸਮੀਕਰਨ ਹੈ—

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \tag{6.24}$$

$$m_1 v_{1i}^2 = m_1 v_{1f}^2 + m_2 v_{2f}^2 \tag{6.25}$$

(6.24) ਅਤੇ (6.25) ਤੋਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ

$$m_1 v_{1i}(v_{2f} - v_{1i}) = m_1 v_{1f}(v_{2f} - v_{1f})$$

ਜਾਂ, $$v_{2f}(v_{1i} - v_{1f}) = v_{1i}^2 - v_{1f}^2$$

$$= (v_{1i} - v_{1f})(v_{1i} + v_{1f})$$

ਇਸ ਲਈ, $$v_{2f} = v_{1i} + v_{1f} \quad (6.26)$$

ਇਸ ਨੂੰ 6.24 ਵਿੱਚ ਰੱਖਣ ਤੇ, ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ,

$$v_{1f} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} v_{1i} \quad (6.27)$$

ਅਤੇ $$v_{2f} = \frac{2m_1 v_{1i}}{m_1 + m_2} \quad (6.28)$$

ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ 'ਅਗਿਆਤ ਰਾਸ਼ੀਆਂ' (v_{1f}, v_{2f}) ਗਿਆਤ ਰਾਸ਼ੀਆਂ (m_1, m_2, v_{1i}) ਦੇ ਪਦਾਂ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੋ ਗਈਆਂ ਹਨ। ਆਓ, ਹੁਣ ਉਪਰੋਕਤ ਵਿਸ਼ਲੇਸ਼ਣ ਤੋਂ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਹਲਾਤਾਂ ਵਿੱਚ ਮਜ਼ੇਦਾਰ ਨਤੀਜੇ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ।

ਦਸ਼ਾ 1 : ਜੇ ਦੋਵੇਂ ਪੁੰਜ ਬਰਾਬਰ ਹਨ, ਅਰਥਾਤ $m_1 = m_2$, ਤਾਂ

$$v_{1f} = 0$$
$$v_{2f} = v_{1i}$$

ਅਰਥਾਤ ਪਹਿਲਾਂ ਪੁੰਜ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਟੱਕਰ ਦੇ ਬਾਦ ਦੂਸਰਾ ਪੁੰਜ, ਪਹਿਲੇ ਪੁੰਜ ਦਾ ਅਰੰਭਿਕ ਵੇਗ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਲੈਂਦਾ ਹੈ।

ਦਸ਼ਾ 2 : ਜੇ ਇੱਕ ਪਿੰਡ ਦਾ ਪੁੰਜ ਦੂਸਰੇ ਪਿੰਡ ਦੇ ਪੁੰਜ ਤੋਂ ਬਹੁਤ ਵੱਧ ਹੋਵੇ, ਅਰਥਾਤ $m_2 >> m_1$, ਤਾਂ

$$v_{1f} \simeq -v_{1i}, \quad v_{2f} = 0$$

ਭਾਰੀ ਪੁੰਜ ਸਥਿਰ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਹਲਕੇ ਪੁੰਜ ਦਾ ਵੇਗ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ *6.12* ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨਾਂ ਦਾ ਮੰਦਨ :** ਕਿਸੇ ਨਾਭਿਕੀ ਰਿਐਕਟਰ ਵਿੱਚ ਤੇਜ਼ ਗਤੀ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨਾਂ (ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਵੇਗ 10^7 m s^{-1}) ਨੂੰ 10^3 m s^{-1} ਦੇ ਵੇਗ ਤੱਕ ਮੰਦਿਤ ਕਰ ਦਿੱਤਾ ਜਾਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਤਾਂਕਿ ਨਾਭਿਕੀ ਵਿਖੰਡਨ ਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਯੂਰੇਨਿਅਮ ਦੇ ਸਮਸਥਾਨਿਕ (isotope) $^{235}_{92}U$ ਨਾਲ ਕਿਰਿਆ ਦੀ ਸੰਭਾਵਨਾ ਬਹੁਤ ਜ਼ਿਆਦਾ ਹੋ ਜਾਵੇ। ਸਿੱਧ ਕਰੋ ਕਿ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਇੱਕ ਹਲਕੇ ਨਾਭਿਕ, ਜਿਵੇਂ- ਡਿਊਟੀਰੀਅਮ ਜਾਂ ਕਾਰਬਨ ਜਿਸਦਾ ਪੁੰਜ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੇ ਪੁੰਜ ਦਾ ਮਾਤਰ ਕੁਝ ਗੁਣਾ ਹੈ, ਨਾਲ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਆਪਣੀ ਵਧੇਰੇ ਕਰਕੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਹਾਨੀ ਕਰ ਦਿੰਦਾ ਹੈ। ਅਜਿਹੇ ਪਦਾਰਥ ਆਮ ਕਰਕੇ ਭਾਰੇ ਪਾਣੀ (heavy water) (D_2O) ਜਾਂ ਗ੍ਰੇਫਾਈਟ, ਜੋ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਗਤੀ ਨੂੰ ਮੰਦ ਕਰ ਦਿੰਦੇ ਹਨ, 'ਮੰਦਕ' (moderator) ਕਹਾਉਂਦੇ ਹਨ।

ਹੱਲ : ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੈ

$$K_{1i} = \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2$$

ਜਦੋਂ ਕਿ ਸਮੀਕਰਨ (6.27) ਤੋਂ ਇਸ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੈ

$$K_{1f} = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 = \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 v_{1i}^2$$

ਅੰਸ਼ਿਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਹਾਣੀ

$$f_1 = \frac{K_{1f}}{K_{1i}} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2$$

ਜਦੋਂ ਕਿ ਮੰਦਕ ਨਾਭਿਕ ਦੁਆਰਾ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਅੰਸ਼ਿਕ ਵਾਧਾ ਹੈ K_{2f}/K_{1i}

$f_2 = 1 - f_1$ (ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ)

$$= \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}$$

ਇਹ ਨਤੀਜਾ ਸਮੀਕਰਨ (6.28) ਤੋਂ ਭਰ ਕੇ ਵੀ ਸਿੱਧ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।

ਡਿਊਟੀਰੀਅਮ ਲਈ $m_2 = 2m_1$ ਅਤੇ ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ $f_1 = 1/9$, ਜਦੋਂ ਕਿ $f_2 = 8/9$ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਲਗਭਗ 90% ਊਰਜਾ ਡਿਊਟੀਰੀਅਮ ਨੂੰ ਸਥਾਂਨਾਤਰਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਕਾਰਬਨ ਲਈ $f_1 = 71.6\%$ ਅਤੇ $f_2 = 28.4\%$ ਹੈ। ਹਾਲਾਂਕਿ, ਵਿਵਹਾਰਕ ਤੌਰ, ਤੇ ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ ਵਿਰਲੀ ਹੋਣ ਦੇ ਕਾਰਨ ਇਹ ਗਿਣਤੀ ਬਹੁਤ ਘੱਟ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

ਜੇ ਦੋਨੋਂ ਪਿੰਡਾਂ ਦੇ ਆਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਵੇਗ ਇੱਕ ਹੀ ਸਰਲ ਰੇਖਾ ਦੇ ਨਾਲ-ਨਾਲ ਕਾਰਜ ਕਰਦੇ ਹੋਣ ਤਾਂ ਅਜਿਹੀ ਟੱਕਰ ਨੂੰ ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਟੱਕਰ ਜਾਂ ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ **(head-on collision)** ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਛੋਟੇ ਗੋਲੇ ਵਰਗੇ ਪਿੰਡਾਂ ਦੇ ਲਈ ਇਹ ਸੰਭਵ ਹੈ ਕਿ ਪਿੰਡ 1 ਦੀ ਗਤੀ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਰੱਖੇ ਪਿੰਡ 2 ਦੇ ਕੇਂਦਰ ਵਿੱਚੋਂ ਹੋ ਕੇ ਲੰਘੇ। ਆਮ ਕਰਕੇ ਜੋ ਅਰੰਭਿਕ ਵੇਗ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਵੇਗ ਇੱਕ ਹੀ ਤਲ ਵਿੱਚ ਹੋਣ ਤਾਂ ਟੱਕਰ ਦੋ ਵਿਮੀ (two-dimensional) ਕਹਾਉਂਦੀ ਹੈ। ◀

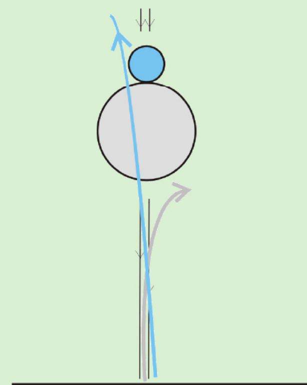
6.12.3 ਦੋ-ਵਿਮੀ ਟੱਕਰ (Collisions in Two Dimensions)

ਚਿੱਤਰ 6.10 ਸਥਿਰ ਪੁੰਜ m_2 ਨਾਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਪੁੰਜ m_1 ਦੀ ਟੱਕਰ ਨੂੰ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੀ ਟੱਕਰ ਵਿੱਚ ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ। ਕਿਉਂਕਿ ਸੰਵੇਗ ਇੱਕ ਸਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਤਿੰਨ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ $\{x, y, z\}$ ਲਈ ਤਿੰਨ ਸਮੀਕਰਨ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਟੱਕਰ ਦੇ ਬਾਦ m_1 ਅਤੇ m_2 ਦੇ ਅੰਤਿਮ ਵੇਗ ਦੀਆਂ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਦੇ ਆਧਾਰ 'ਤੇ ਸਮਤਲ ਦਾ ਨਿਰਧਾਰਨ ਕਰੋ ਅਤੇ ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਇਹ x-y ਸਮਤਲ ਹੈ। ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ ਦੇ z-

ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ ਤੇ ਇੱਕ ਪ੍ਰਯੋਗ
An experiment on head-on collision

ਖਿਤਜੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਟੱਕਰ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਦੇ ਸਮੇਂ ਸਾਨੂੰ ਤਿੰਨ ਮੁਸ਼ਕਲਾਂ ਦਾ ਸਾਹਮਣਾ ਕਰਨਾ ਪੈਂਦਾ ਹੈ। ਪਹਿਲਾ, ਰਗੜ ਦੇ ਕਾਰਨ ਵਸਤੂ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਵੇਗ ਨਾਲ ਨਹੀਂ ਚੱਲੇਗੀ। ਦੂਸਰਾ, ਜੇ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਸਾਈਜ਼ ਦੀਆਂ ਦੋ ਵਸਤੂਆਂ ਮੇਜ਼ ਤੇ ਟੱਕਰ ਕਰਦੀਆਂ ਹਨ ਤਾਂ ਉਹਨਾਂ ਨੂੰ ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ ਲਈ ਵਿਵਸਥਿਤ ਕਰਨਾ ਮੁਸ਼ਕਲ ਹੈ ਜਦੋਂ ਤੱਕ ਕਿ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਪੁੰਜ ਕੇਂਦਰ ਸਤਹਿ ਤੋਂ ਇੱਕੋ ਜਿਹੀ ਉਚਾਈ' ਤੇ ਨਾ ਹੋਣ। ਤੀਸਰਾ, ਟੱਕਰ ਤੋਂ ਠੀਕ ਪਹਿਲਾਂ ਅਤੇ ਟੱਕਰ ਦੇ ਠੀਕ ਬਾਦ ਵਿੱਚ ਦੋਵੇਂ ਵਸਤੂਆਂ ਦੇ ਵੇਗ ਨੂੰ ਮਾਪਣਾ ਬਹੁਤ ਹੀ ਮੁਸ਼ਕਲ ਹੋਵੇਗਾ।

ਇਸ ਪ੍ਰਯੋਗ ਨੂੰ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ (vertical) ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਕਰਨ ਨਾਲ ਇਹ ਤਿੰਨੇ ਮੁਸ਼ਕਲਾਂ ਖ਼ਤਮ ਹੋ ਜਾਂਦੀਆਂ ਹਨ। ਦੋ ਗੇਂਦਾਂ ਲਉ ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਇੱਕ ਭਾਰੀ (ਬਾਸਕਟ ਬਾਲ/ਫੁੱਟਬਾਲ/ਵਾਲੀਵਾਲ) ਅਤੇ ਦੂਸਰੀ ਹਲਕੀ (ਟੈਨਿਸ ਬਾਲ/ਰਬੜ ਦੀ ਗੇਂਦ/ਟੇਬਲ-ਟੈਨਿਸ ਬਾਲ) ਹੋਵੇ ਪਹਿਲਾਂ ਸਿਰਫ਼ ਭਾਰੀ ਗੇਂਦ ਲੈ ਕੇ ਲਗਭਗ। [1]m ਉਚਾਈ ਤੋਂ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਸੁੱਟਿਆ ਜਾਵੇ। ਨੋਟ ਕਰੋ ਇਹ ਕਿੰਨਾ ਉੱਪਰ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਉਛਲਣ (bounce) ਤੋਂ ਠੀਕ ਪਹਿਲਾਂ ਜਾਂ ਠੀਕ ਬਾਦ ਵਿੱਚ ਫਰਸ਼ ਜਾਂ ਧਰਤੀ ਦੇ ਨੇੜੇ ਦਾ ਵੇਗ ਪਤਾ ਹੋ ਜਾਵੇਗਾ ($v^2 = 2gh$ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ)। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਤੁਸੀਂ ਪੁਨਰ ਸਥਾਪਨਾ ਗੁਣਾਂਕ (coefficient of restitution) ਪਤਾ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹੋ।



ਹੁਣ ਇੱਕ ਵੱਡੀ ਗੇਂਦ ਅਤੇ ਇੱਕ ਛੋਟੀ ਗੇਂਦ ਆਪਣੇ ਹੱਥਾਂ ਵਿੱਚ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਫੜੋ ਕਿ ਭਾਰੀ ਗੇਂਦ ਹੇਠਾਂ ਅਤੇ ਹਲਕੀ ਗੇਂਦ ਇਸਦੇ ਉੱਪਰ ਰਹੇ, ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਦੋਨਾਂ ਨੂੰ ਇਕੱਠੇ ਨਾਲੋਂ-ਨਾਲ ਸੁੱਟੋ। ਇਹ ਧਿਆਨ ਰੱਖੋ ਕਿ ਡਿਗਦੇ ਸਮੇਂ ਦੋਨੋਂ ਨਾਲੋਂ-ਨਾਲ ਰਹਿਣ ਅਤੇ ਦੇਖੋ, ਕੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ? ਤੁਸੀਂ ਦੇਖੋਗੇ ਕਿ ਭਾਰੀ ਗੇਂਦ ਪਹਿਲਾਂ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ ਜਦੋਂ ਇਹ ਇਕੱਲੀ ਸੁੱਟੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ, ਘੱਟ ਉਚਾਈ ਤੱਕ ਉੱਠਦੀ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਹਲਕੀ ਗੇਂਦ ਲਗਭਗ 3m ਉਚਾਈ ਤੱਕ ਉੱਪਰ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਅਭਿਆਸ ਦੇ ਨਾਲ ਤੁਸੀਂ ਗੇਂਦਾਂ ਨੂੰ ਨਾਲ-ਨਾਲ ਰੱਖ ਪਾਉਗੇ ਅਤੇ ਹਲਕੀ ਗੇਂਦ ਨੂੰ ਇੱਧਰ-ਉੱਧਰ ਜਾਣ ਦੇਣ ਦੀ ਬਜਾਏ ਸਿੱਧਾ ਉੱਪਰ ਚੁੱਕ ਸਕੋਗੇ। ਇਹ ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ ਹੈ।

ਤੁਸੀਂ ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਸਭ ਤੋਂ ਵਧੀਆ ਜੋੜੇ ਦੀ ਜਾਂਚ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹੋ ਜੋ ਤੁਹਾਨੂੰ ਵਧੀਆ ਨਤੀਜਾ ਦੇਵੇ। ਪੁੰਜਾਂ ਨੂੰ ਤੁਸੀਂ ਕਿਸੇ ਮਿਆਰੀ ਤੱਕੜੀ ਵਿੱਚ ਮਾਪ ਸਕਦੇ ਹੋ। ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਆਰੰਭਿਕ ਅਤੇ ਅੰਤਿਮ ਵੇਗਾਂ ਨੂੰ ਗਿਆਤ ਕਰਨ ਦੀ ਵਿਧੀ ਨੂੰ ਤੁਸੀਂ ਖ਼ੁਦ ਸੋਚ ਸਕਦੇ ਹੋ।

ਘਟਕ ਦਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਇਹ ਦਰਸਾਉਂਦਾ ਹੈ ਕਿ ਸੰਪੂਰਨ ਟੱਕਰ x-y ਤਲ ਵਿੱਚ ਹੈ। x-ਘਟਕ ਅਤੇ y-ਘਟਕ ਦੇ ਸਮੀਕਰਨ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਹਨ—

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} \cos\theta_1 + m_2 v_{2f} \cos\theta_2 \quad (6.29)$$

$$0 = m_1 v_{1f} \sin\theta_1 - m_2 v_{2f} \sin\theta_2 \quad (6.30)$$

ਵਧੇਰੇ ਸਥਿਤੀਆਂ ਵਿੱਚ ਇਹ ਮੰਨਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਕਿ $\{m_1, m_2, v_{1i}\}$ ਦੀ ਜਾਣਕਾਰੀ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਟੱਕਰ ਤੋਂ ਬਾਦ ਸਾਨੂੰ ਚਾਰ ਅਗਿਆਤ ਰਾਸ਼ੀਆਂ $\{v_{1f}, v_{2f}, \theta_1, \theta_2\}$ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ, ਜਦੋਂ ਕਿ ਸਾਡੇ ਕੋਲ ਸਿਰਫ਼ ਦੋ ਸਮੀਕਰਨਾਂ ਹਨ। ਜੇ $\theta_1 = \theta_2 = 0$, ਅਸੀਂ ਮੁੜ ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਟੱਕਰ ਦੇ ਲਈ ਸਮੀਕਰਨ (6.24) ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ।

ਹੁਣ ਜੇ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੈ ਤਾਂ

$$\frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} = \frac{1}{2} m_1 v^2_{1f} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2f} \quad (6.31)$$

ਇਹ ਸਮੀਕਰਨ (6.29) ਅਤੇ (6.30) ਤੋਂ ਇਲਾਵਾ ਇੱਕ ਹੋਰ ਸਮੀਕਰਨ ਦਿੰਦਾ ਹੈ। ਪਰ ਅਜੇ ਵੀ ਸਾਡੇ ਕੋਲ ਸਾਰੀਆਂ ਅਗਿਆਤ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਦਾ ਪਤਾ ਲਗਾਉਣ ਦੇ ਲਈ ਇੱਕ ਸਮੀਕਰਨ ਘੱਟ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਪ੍ਰਸ਼ਨ ਨੂੰ ਹੱਲ ਕਰਨ ਲਈ, ਚਾਰ ਅਗਿਆਤ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਵਿੱਚੋ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਇੱਕ ਹੋਰ ਰਾਸ਼ੀ, ਮੰਨ ਲਉ θ_1 ਗਿਆਤ ਹੋਣੀ ਚਾਹੀਦੀ ਹੈ। ਉਦਾਹਰਨ ਲਈ, ਕੋਣ θ_1 ਦਾ ਨਿਰਧਾਰਨ ਸੰਸੂਚਕ (detector) ਨੂੰ ਕੋਣੀ ਫੈਸ਼ਨ ਵਿੱਚ x-ਧੁਰੇ ਅਤੇ y-ਧੁਰੇ ਤੱਕ ਘੁਮਾ ਕੇ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਰਾਸ਼ੀਆਂ $\{m_1, m_2, v_{1f}, \theta_1\}$ ਦੇ ਗਿਆਨ ਮੁੱਲਾਂ ਤੋਂ ਅਸੀਂ ਸਮੀਕਰਨ (6.29)-(6.31) ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ $\{v_{1f}, v_{2f}, \theta_2\}$ ਦਾ ਨਿਰਧਾਰਨ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ।

▶ **ਉਦਾਹਰਨ *6.13*** ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 6.10 ਵਿੱਚ ਚਿੱਤਰਿਤ ਟੱਕਰ ਬਿਲਿਅਰਡ ਦੀ ਗੇਂਦ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਪੁੰਜ $\{m_1 = m_2\}$ ਵਾਲੀਆਂ ਦੋ ਗੇਂਦਾਂ ਵਿੱਚ ਹੋਈ ਹੈ, ਜਿਸ ਵਿਚ ਪਹਿਲੀ ਗੇਂਦ 'ਕਯੂ' (cue, ਡੰਡਾ) ਕਹਾਉਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਦੂਸਰੀ ਗੇਂਦ 'ਨਿਸ਼ਾਨਾ' (Target) ਕਹਾਉਂਦੀ ਹੈ। ਖਿਡਾਰੀ 'ਨਿਸ਼ਾਨਾ' ਗੇਂਦ ਨੂੰ $\theta_2 = 37°$ ਦੇ ਕੋਣ ਤੇ ਕੋਨੇ ਵਿੱਚ ਲੱਗੀ ਥੈਲੀ ਵਿੱਚ ਸੁੱਟਣਾ ਚਾਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇੱਥੇ ਮੰਨ ਲਉ ਕਿ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੈ ਅਤੇ ਰਗੜ ਅਤੇ ਘੁੰਮਣ ਗਤੀ ਮਹੱਤਵਪੂਰਨ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਕੋਣ θ_1 ਪਤਾ ਕਰੋ।

ਹੱਲ : ਕਿਉਂਕਿ ਪੁੰਜ ਬਰਾਬਰ ਹਨ ਇਸ ਲਈ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਨ ਦੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ

$$\mathbf{v}_{1f} = \mathbf{v}_{1f} + \mathbf{v}_{2f}$$

ਸਮੀਕਰਨ ਦੇ ਦੋਨੋਂ ਪਾਸਿਆਂ ਦਾ ਵਰਗ (squaring) ਕਰਨ ਤੇ $v^2_{1i} = (\mathbf{v}_{1f} + \mathbf{v}_{2f}) \cdot (\mathbf{v}_{1f} + \mathbf{v}_{2f})$

$$= v_{1f}^2 + v_{2f}^2 + 2\mathbf{v}_{1f}.\mathbf{v}_{2f}$$
$$= \left\{ v_{1f}^2 + v_{2f}^2 + 2v_{1f}v_{2f} \cos \ (\theta_1 + 37°) \right\} \quad (6.32)$$

ਕਿਉਂਕਿ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੈ ਅਤੇ ਪੁੰਜ $m_1 = m_2$ ਹੈ, ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਸੁਰੱਖਿਅਣ, ਸਮੀਕਰਨ (6.31) ਤੋਂ ਅਸੀਂ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰਦੇ ਹਾਂ $v_{1i}^2 = v_{1f}^2 + v_{2f}^2$ (6.33)

ਉਪਰੋਕਤ ਦੋਨੋਂ ਸਮੀਕਰਨਾਂ (6.32) ਅਤੇ (6.33) ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਕਰਨ ਤੇ

$\cos(\theta_1 + 37°) = 0$

ਇਸ ਲਈ $\theta_1 + 37° = 90°$

ਜਾਂ, $\theta_1 = 53°$

ਇਸ ਤੋਂ ਸਿੱਧ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਕਿ ਜਦੋਂ ਬਰਾਬਰ ਪੁੰਜ ਦੇ ਦੋ ਪਿੰਡ, ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਕਰਨ ਦੀ ਇੱਕ ਸਥਿਰ ਹੈ ਅਤੇ ਦੂਸਰਾ ਇਸ ਨੂੰ ਟੱਕਰ ਮਾਰ ਕੇ ਕਿਸੇ ਕੋਣ ਤੇ ਮੁੜ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਦੋਵੇਂ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਨਾਲ ਸਮਕੋਣ ਬਣਾਉਂਦੇ ਹੋਏ ਗਤੀ ਕਰਨਗੇ।

ਜੇ ਅਸੀਂ ਚੀਕਣੀ ਸਤ੍ਹਾ ਵਾਲੇ ਗੋਲੇ ਵਰਗੇ ਪੁੰਜ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰੀਏ ਅਤੇ ਮੰਨ ਲਈਏ ਕਿ ਟੱਕਰ ਉਦੋਂ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਜਦੋਂ ਪਿੰਡ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਨੂੰ ਸਪਰਸ਼ ਕਰੇ ਤਾਂ ਵਿਸ਼ਾ ਬਹੁਤ ਹੀ ਸੌਖਾ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਮਾਰਬਲ, ਕੈਰਮ (Carrom) ਅਤੇ ਬਿਲਿਅਰਡ ਦੇ ਖੇਡ ਵਿੱਚ ਠੀਕ ਅਜਿਹਾ ਹੀ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

ਸਾਡੇ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਜੀਵਨ ਵਿੱਚ ਟੱਕਰ ਉਦੋਂ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਜਦੋਂ ਦੋ ਵਸਤੂਆਂ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਨੂੰ ਸਪਰਸ਼ ਕਰਨ। ਪਰ ਵਿਚਾਰ ਕਰੋ ਕਿ ਕੋਈ ਪੂਛਲ ਤਾਰਾ ਬਹੁਤ ਦੂਰੋਂ ਸੂਰਜ ਵੱਲ ਆ ਰਿਹਾ ਹੈ ਜਾਂ ਅਲਫ਼ਾ ਕਣ ਕਿਸੇ ਨਾਭਿਕ ਵੱਲ ਆਉਂਦਾ ਹੋਇਆ ਕਿਸੇ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਚਲਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਇੱਥੇ ਸਾਡਾ ਦੂਰੀਆਂ ਤੋਂ ਲੱਗ ਰਹੇ ਬਲਾਂ ਨਾਲ ਸਾਹਮਣਾ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੀ ਘਟਨਾ ਨੂੰ 'ਖੰਡਾਉ' (Scattering) ਕਹਿੰਦੇ ਹਨ। ਜਿਸ ਵੇਗ ਅਤੇ ਦਿਸ਼ਾਵਾਂ ਵਿੱਚ ਦੋਨੋਂ ਕਣ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਹੋਣਗੇ, ਉਹ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਆਰੰਭਿਕ ਵੇਗ, ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਪੁੰਜ, ਆਕਾਰ ਅਤੇ ਸਾਈਜ਼ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਵਿੱਚ ਹੋਣ ਵਾਲੀ ਆਪਸੀ ਕਿਰਿਆ ਦੇ ਪ੍ਰਕਾਰ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਹੈ।

ਸਾਰ (SUMMARY)

1. ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ਉਸ ਤੇ ਲੱਗੇ ਕੁੱਲ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਹੈ।
$$K_f - K_i = W_{net}$$
2. ਕੋਈ ਬਲ **ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ (*conservative*)** ਹੈ ਜੇ (i) ਉਸ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ, ਪੱਥ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਨਾ ਕਰਕੇ ਸਿਰਫ਼ ਸਿਰਿਆਂ ਦੇ ਬਿੰਦੂਆਂ $\{x_i, x_f\}$ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ, ਜਾਂ (ii) ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਉਸ ਪਿੰਡ ਦੇ ਲਈ, ਜੋ ਕਿਸੇ ਇੱਕ ਬੰਦ ਪੱਖ ਵਿੱਚ ਚਲਦਾ ਹੋਇਆ ਆਪਣੀ ਆਰੰਭਿਕ ਸਥਿਤੀ ਤੇ ਵਾਪਿਸ ਆ ਜਾਵੇ।
3. ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲ ਦੇ ਲਈ ਅਸੀਂ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਫਲਨ $V(x)$ (potential Energy function) ਨੂੰ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਪਰਿਭਾਸ਼ਿਤ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ—
$$F(x) = -\frac{dV(x)}{dx}$$
ਜਾਂ
$$V_i - V_f = \int_{x_i}^{x_f} F(x)\,dx$$
4. ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਨਿਯਮ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ, ਜੇ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਕਾਰਜ ਕਰ ਰਿਹਾ ਬਲ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਹੈ ਤਾਂ ਪਿੰਡ ਦੀ ਕੁੱਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਸਥਿਰ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ।
5. m ਪੁੰਜ ਦੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦੀ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤ੍ਹਾ ਤੋਂ x ਉਚਾਈ ਤੇ ਗੁਰੂਤਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ $V(x) = mgx$ ਹੁੰਦੀ ਹੈ, ਜਿੱਥੇ ਉਚਾਈ ਦੇ ਨਾਲ g ਦੇ ਮੁੱਲ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ ਨਕਾਰਨਯੋਗ ਹੈ।
6. k ਬਲ-ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਵਾਲੇ ਸਪਰਿੰਗ, ਜਿਸ ਵਿੱਚ ਖਿਚਾਓ x ਹੈ, ਦੀ ਲਚਕਦਾਰ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।
$$V(x) = \frac{1}{2}kx^2$$
7. ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ (vectors) ਦੇ ਅਦਿਸ਼ ਜਾਂ ਬਿੰਦੂ ਗੁਣਨਫਲ (Scalar or dot product) ਨੂੰ ਅਸੀਂ **A.B** ਲਿਖਦੇ ਹਾਂ। (ਇਸ ਨੂੰ **A** ਡਾੱਟ **B** ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪੜ੍ਹਦੇ ਹਾਂ) **A.B** ਇੱਕ ਅਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ ਜਿਸਦਾ ਮਾਨ $AB \cos\theta$ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। θ ਸਦਿਸ਼ਾਂ **A** ਅਤੇ **B** ਵਿਚਲਾ ਛੋਟਾ ਕੋਣ ਹੈ। **A.B** ਦਾ ਮਾਨ ਕਿਉਂਕਿ θ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ, ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਧਨਾਤਮਕ (positive), ਰਿਣਾਤਮਕ (negative) ਜਾਂ ਜ਼ੀਰੋ ਹੋ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਦੋ ਸਦਿਸ਼ਾਂ ਦੇ ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਦੀ ਵਿਆਖਿਆ- ਇੱਕ ਸਦਿਸ਼ ਦੀ ਮਾਤਰਾ (ਜਾਂ ਮਿਕਦਾਰ ਜਾਂ ਪਰਿਮਾਣ, (magnitude) ਅਤੇ ਦੂਸਰੇ ਸਦਿਸ਼ ਦਾ ਪਹਿਲੇ ਸਦਿਸ਼ ਦੇ ਨਾਲ ਘਟਕ ਦਾ ਗੁਣਨਫਲ (Component of the other vector along the first vector) ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਵੀ ਕਰ ਸਕਦੇ ਹਾਂ।

   ਇਕਾਈ ਜਾਂ ਏਕਾਂਕ ਸਦਿਸ਼ਾਂ (Unit vectors) $\hat{i}, \hat{j}$ ਅਤੇ $\hat{k}$ ਦੇ ਲਈ ਹੇਠ ਲਿਖੇ ਤੱਥ ਯਾਦ ਰੱਖਣੇ ਚਾਹੀਦੇ ਹਨ –

   $\hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}\cdot\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = 1$ ਅਤੇ $\hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{j}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{k}}\cdot\hat{\mathbf{i}} = 0$

   ਅਦਿਸ਼ ਗੁਣਨਫਲ ਕ੍ਰਮ ਵਟਾਂਦਰਾ (commutative) ਅਤੇ ਵੰਡ ਨਿਯਮ (distribution) ਦੀ ਪਾਲਣਾ ਕਰਦੇ ਹਨ।

ਭੌਤਿਕ ਰਾਸ਼ੀ	ਪ੍ਰਤੀਕ	ਵਿਮ	ਮਾਤਰਕ	ਟਿੱਪਣੀ
ਕਾਰਜ	W	$[ML^2T^{-2}]$	J	$W = \mathbf{F.d}$
ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ	K	$[ML^2T^{-2}]$	J	$K = \frac{1}{2}mv^2$
ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ	$V(x)$	$[ML^2T^{-2}]$	J	$F(x) = -\frac{dV(x)}{dx}$
ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ	E	$[ML^2T^{-2}]$	J	$E = K + V$
ਸਪਰਿੰਗ ਸਥਿਰ ਅੰਕ	k	$[ML^{-2}]$	$N\ m^{-1}$	$F = -kx$ $V(x) = \frac{1}{2}kx^2$
ਸ਼ਕਤੀ	P	$[ML^2T^{-3}]$	W	$P = \mathbf{F.v}$ $P = \frac{dw}{dt}$

ਵਿਚਾਰਨਯੋਗ ਵਿਸ਼ੇ (Points to ponder)

1. ਵਾਕ "ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਕਰੋ" ਅਧੂਰਾ ਹੈ। ਸਾਨੂੰ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਬਲ ਜਾਂ ਬਲਾਂ ਦੇ ਸਮੂਹ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੇ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਵਿਸਥਾਪਨ ਕਰਨ ਵਿੱਚ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਸਪੱਸ਼ਟ ਉਲੇਖ ਕਰਨਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ (ਜਾਂ ਸੰਦਰਭ ਦਿੰਦੇ ਹੋਏ ਸਪੱਸ਼ਟ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਦੱਸਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ)
2. ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਇੱਕ ਸਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀ ਹੈ। ਇਹ ਭੌਤਿਕ ਰਾਸ਼ੀ ਧਨਾਤਮਕ ਜਾਂ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੋ ਸਕਦੀ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਕਿ ਪੁੰਜ ਅਤੇ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਧਨਾਤਮਕ ਅਦਿਸ਼ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਹਨ। ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਰਗੜ ਜਾਂ ਵਿਸਕਸ (viscous) ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਰਿਣਾਤਮਕ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।
3. ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਤੀਸਰੇ ਨਿਯਮ ਅਨੁਸਾਰ, ਕਿਸੇ ਦੋ ਪਿੰਡਾਂ ਦੁਆਰਾ ਆਪਸ ਵਿੱਚ ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਤੇ ਲੱਗੇ ਬਲਾਂ ਦਾ ਜੋੜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।
$$\mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{21} = 0$$
ਪਰ ਦੋ ਬਲਾਂ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਜੋੜ ਸਦਾ ਜ਼ੀਰੋ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ, ਜਾਂ
$$W_{12} + W_{21} \neq 0$$
ਐਪਰ, ਕਦੇ-ਕਦੇ ਇਹ ਸੱਚ ਵੀ ਹੋ ਸਕਦਾ ਹੈ।
4. ਕਦੇ-ਕਦੇ ਕਿਸੇ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦੀ ਗਣਨਾ ਉਦੋਂ ਵੀ ਕੀਤੀ ਜਾ ਸਕਦੀ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਬਲ ਦੀ ਠੀਕ-ਠੀਕ ਪ੍ਰਕਿਰਤੀ ਦਾ ਗਿਆਨ ਨਾ ਵੀ ਹੋਵੇ। ਉਦਾਹਰਣ 6.2 ਤੋਂ ਇਹ ਸਪੱਸ਼ਟ ਹੈ, ਜਿੱਥੇ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦਾ ਅਜਿਹੀ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਯੋਗ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ।
5. ਕਾਰਜ-ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਤੋਂ ਸੁਤੰਤਰ ਨਹੀਂ ਹੈ। ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਨੂੰ ਨਿਊਟਨ ਦੇ ਦੂਸਰੇ ਨਿਯਮ ਦੇ ਅਦਿਸ਼ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਦੇਖਿਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਦੇ ਸੁਰੱਖਿਅਣ ਦੇ ਸਿਧਾਂਤ ਨੂੰ, ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲਾਂ ਦੇ ਲਈ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦੇ ਇੱਕ ਮਹੱਤਵਪੂਰਨ ਨਤੀਜੇ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਸਮਾਇਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।
6. ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਸਾਰੇ ਜੜ੍ਹਤਵੀ ਫਰੇਮਾਂ (inertial frames) ਵਿੱਚ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। ਇਸ ਨੂੰ ਗ਼ੈਰ-ਜੜ੍ਹਤਵੀ ਫਰੇਮਾਂ (non-inertial frames) ਵਿੱਚ ਵੀ ਲਾਗੂ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਵਿਚਾਰ ਅਧੀਨ ਪਿੰਡ ਤੇ ਲੱਗੇ ਕੁੱਲ ਬਲਾਂ ਦੇ ਪਰਿਕਲਨ ਵਿੱਚ ਛਦਮ ਬਲ (pseudoforces) ਦੇ ਪ੍ਰਭਾਵ ਨੂੰ ਵੀ ਸ਼ਾਮਿਲ ਕਰ ਲਿਆ ਜਾਵੇ।
7. ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲੇ ਬਲਾਂ ਦੇ ਅਧੀਨ ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਕਿਸੇ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਤੱਕ ਅਨਿਸ਼ਚਿਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ। ਉਦਾਹਰਣ ਲਈ, ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਕਿਸ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਜ਼ੀਰੋ ਲੈਣੀ ਹੈ, ਇਹ ਸਿਰਫ਼ ਮਰਜ਼ੀ ਨਾਲ ਚੁਣੇ ਗਏ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦਾ ਹੈ, ਜਿਵੇਂ— ਗੁਰੂਤਵੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ mgh ਦੀ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ੀਰੋ ਬਿੰਦੂ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤਹਿ 'ਤੇ ਲਿਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਸਪਰਿੰਗ ਦੇ ਲਈ ਜਿਸਦੀ ਊਰਜਾ $1/2kx^2$ ਹੈ, ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ੀਰੋ ਬਿੰਦੂ, ਡੋਲਨ ਕਰ ਰਹੇ ਪੁੰਜ ਦੀ ਮੱਧ ਸਥਿਤੀ ਤੇ ਲਿਆ ਗਿਆ ਹੈ।
8. ਯੰਤਰਿਕੀ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਬਲ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਨਾਲ ਸੰਬੰਧਿਤ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਉਦਾਹਰਨ ਲਈ, ਰਗੜ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਬੰਦ ਪੱਥ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਨਹੀਂ ਹੈ ਅਤੇ ਨਾ ਹੀ ਰਗੜ ਨਾਲ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਨੂੰ ਸੰਬੋਧਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ।
9. ਕਿਸੇ ਟੱਕਰ ਦੌਰਾਨ (a) ਟੱਕਰ ਦੇ ਹਰੇਕ ਛਿਣ ਵਿੱਚ ਪਿੰਡ ਦਾ ਕੁੱਲ ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ ; (b) ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਨ (ਚਾਹੇ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੀ ਹੋਵੇ) ਟੱਕਰ ਦੀ ਸਮਾਪਤੀ ਦੇ ਬਾਦ ਹੀ ਲਾਗੂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਟੱਕਰ ਦੇ ਹਰੇਕ ਪਲ ਦੇ ਲਈ ਲਾਗੂ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਅਸਲ ਵਿੱਚ, ਟੱਕਰ ਕਰਨ ਵਾਲੇ ਦੋਵੇਂ ਪਿੰਡਾਂ ਵਿੱਚ ਰੂਪ ਵਿਗਾੜ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਛਿਣ ਭਰ ਲਈ ਇੱਕ ਦੂਸਰੇ ਦੇ ਸਾਪੇਖ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਆ ਜਾਂਦੇ ਹਨ।

ਅਭਿਆਸ (EXERCISES)

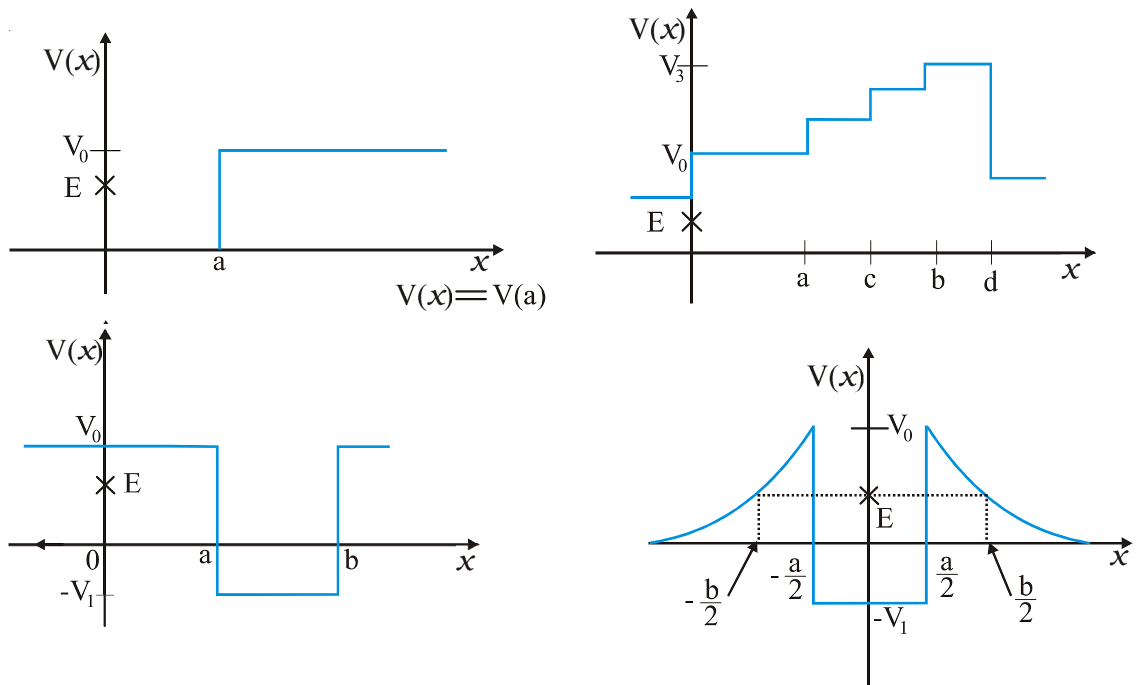
6.1 ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਤੇ ਕਿਸੇ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਚਿੰਨ੍ਹ ਸਮਝਣਾ ਮਹੱਤਵਪੂਰਨ ਹੈ। ਸਾਵਧਾਨੀਪੂਰਵਕ ਦੱਸੋ ਕਿ ਹੇਠ ਲਿਖੀਆਂ ਰਾਸ਼ੀਆਂ ਧਨਾਤਮਕ ਹਨ ਜਾਂ ਰਿਣਾਤਮਕ —

(a) ਕਿਸੇ ਵਿਅਕਤੀ ਦੁਆਰਾ ਕਿਸੇ ਖੂਹ ਵਿੱਚੋਂ ਰੱਸੀ ਨਾਲ ਬੰਨ੍ਹੀ ਬਾਲਟੀ ਨੂੰ ਰੱਸੀ ਦੁਆਰਾ ਬਾਹਰ ਕੱਢਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(b) ਉਪਰੋਕਤ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਵੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(c) ਕਿਸੇ ਢਾਲੂ ਤਲ ਤੇ ਫਿਸਲਦੀ ਹੋਈ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਤੇ ਰਗੜ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(d) ਕਿਸੇ ਖੁਰਦਰੇ ਖਿਤਜੀ ਤਲ ਤੇ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਵੇਗ ਨਾਲ ਗਤੀਮਾਨ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਤੇ ਲਗਾਏ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(e) ਕਿਸੇ ਡੋਲਨ ਕਰਦੇ ਡੋਲਕ ਨੂੰ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਲਿਆਉਣ ਦੇ ਲਈ ਹਵਾ ਦੇ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।

6.2 2 kg ਪੁੰਜ ਦੀ ਕੋਈ ਵਸਤੂ ਜੋ ਸ਼ੁਰੂ ਵਿੱਚ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਹੈ, 7 N ਦੇ ਕਿਸੇ ਖਿਤਜੀ ਬਲ ਦੇ ਪ੍ਰਭਾਵ ਨਾਲ ਇੱਕ ਮੇਜ਼ ਤੇ ਗਤੀ ਕਰਦੀ ਹੈ। ਮੇਜ਼ ਦਾ ਗਤਿਜ ਰਗੜ ਗੁਣਾਂਕ 0.1 ਹੈ। ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਕਰੋ ਅਤੇ ਆਪਣੇ ਨਤੀਜਿਆਂ ਦੀ ਵਿਆਖਿਆ ਕਰੋ।

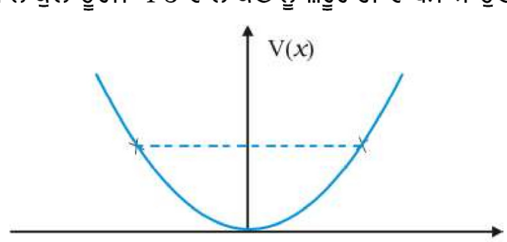
(a) ਲਗਾਏ ਗਏ ਬਲ ਦੁਆਰਾ 10s ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(b) ਰਗੜ ਦੁਆਰਾ 10 s ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(c) ਵਸਤੂ ਤੇ ਕੁੱਲ ਬਲ ਦੁਆਰਾ10s ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ।
(d) ਵਸਤੂ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ 10s ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਨ।

6.3 ਚਿੱਤਰ 6.11 ਵਿੱਚ ਕੁੱਝ ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਫਲਨਾਂ ਦੇ ਉਦਾਹਰਨ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਹਨ। ਹਰੇਕ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ, ਕੋਈ ਅਜਿਹੇ ਖੇਤਰ ਦੱਸੋ, ਜੇ ਕੋਈ ਹੋਣ ਤਾਂ, ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਊਰਜਾ ਦੇ ਲਈ, ਕਣ ਨੂੰ ਨਹੀਂ ਪਾਇਆ ਜਾ ਸਕਦਾ। ਇਸ ਤੋਂ ਇਲਾਵਾ, ਕਣ ਦੀ ਕੁੱਲ ਘੱਟ ਤੋਂ ਘੱਟ ਊਰਜਾ ਵੀ ਨਿਰਦੇਸ਼ਿਤ ਕਰੋ। ਕੁਝ ਅਜਿਹੇ ਭੌਤਿਕ ਸੰਦਰਭਾਂ ਦੇ ਵਿਸ਼ੇ ਵਿੱਚ ਸੋਚੋ ਜਿਹਨਾਂ ਦੇ ਲਈ ਇਹ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਆਕ੍ਰਿਤੀਆਂ ਪ੍ਰਸੰਗਿਕ ਹੋਣ।



ਚਿੱਤਰ. 6.11

6.4 ਰੇਖੀ ਸਰਲ ਆਵਰਤ ਗਤੀ (simple harmonic motion) ਕਰ ਰਹੇ ਕਿਸੇ ਕਣ ਦਾ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਫਲਨ $V(x) = kx^2/2$ ਹੈ, ਜਿੱਥੇ k ਡੋਲਨ ਦਾ ਬਲ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਹੈ। $k = 0.5\ N\ m^{-1}$ ਦੇ ਲਈ $V(x)$ ਅਤੇ x ਦੇ ਵਿੱਚ ਗ੍ਰਾਫ਼ ਚਿੱਤਰ 6.12. ਵਿੱਚ ਦਿਖਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਇਹ ਦਿਖਾਓ ਕਿ ਇਸ ਪੁਟੈਂਸ਼ਲ ਦੇ ਅੰਤਰਗਤ ਗਤੀਮਾਨ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ 1 J ਵਾਲੇ ਕਣ ਨੂੰ ਜ਼ਰੂਰ ਹੀ ਵਾਪਸ ਆਉਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ। ਜਦੋਂ ਇਹ $x = \pm 2$ m ਤੇ ਪਹੁੰਚਦਾ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ. 6.12

6.5 ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਦਾ ਉੱਤਰ ਦਿਓ —

(a) ਕਿਸੇ ਰਾਕੇਟ ਦਾ ਬਾਹਰੀ ਆਵਰਨ ਉਡਾਨ ਦੇ ਦੌਰਾਨ ਰਗੜ ਦੇ ਕਾਰਨ ਜਲ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਜਲਨ ਦੇ ਲਈ ਜ਼ਰੂਰੀ ਤਾਪ ਊਰਜਾ ਕਿਸ ਦੇ ਖਰਚੇ ਤੇ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕੀਤੀ ਗਈ-ਰਾਕੇਟ ਜਾਂ ਵਾਤਾਵਰਨ ?

(b) ਪੂਛਲ ਤਾਰਾ (comet) ਸੂਰਜ ਦੇ ਚਾਰੋਂ ਪਾਸੇ ਬਹੁਤ ਹੀ ਵੱਡੇ ਅੰਡਾਕਾਰ ਪਥਾਂ ਤੇ ਘੁੰਮਦੇ ਹਨ। ਆਮ ਕਰਕੇ ਪੂਛਲ ਤਾਰੇ ਤੇ ਸੂਰਜ ਦਾ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਪੂਛਲ ਤਾਰੇ ਦੇ ਵੇਗ ਦੇ ਲੰਬ ਨਹੀਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਫਿਰ ਵੀ ਪੂਛਲ ਤਾਰੇ ਦੇ ਸੰਪੂਰਨ ਪਥ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ। ਕਿਉਂ ?

(c) ਧਰਤੀ ਦੇ ਚਾਰੋਂ ਪਾਸੇ ਬਹੁਤ ਹੀ ਕਮਜ਼ੋਰ ਵਾਯੂਮੰਡਲ ਵਿੱਚ ਘੁੰਮਦੇ ਹੋਏ ਕਿਸੇ ਬਣਾਵਟੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਦੀ ਊਰਜਾ ਹੌਲੀ-ਹੌਲੀ ਵਾਯੂਮੰਡਲੀ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧ (ਚਾਹੇ ਇਹ ਕਿੰਨਾਂ ਹੀ ਘੱਟ ਕਿਉਂ ਨਾ ਹੋਵੇ) ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਹਾਵੀ ਹੋਣ ਦੇ ਕਾਰਨ ਘੱਟ ਹੁੰਦੀ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਫਿਰ ਵੀ ਜਿਵੇਂ-ਜਿਵੇਂ ਬਨਾਵਟੀ ਉਪਗ੍ਰਹਿ ਧਰਤੀ ਦੇ ਨੇੜੇ ਆਉਂਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਉਸਦੀ ਚਾਲ ਵਿੱਚ ਲਗਾਤਾਰ ਵਾਧਾ ਕਿਉਂ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ?

(d) ਚਿੱਤਰ 6.13 (i) ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਵਿਅਕਤੀ ਆਪਣੇ ਹੱਥਾਂ ਵਿੱਚ 15 kg ਦਾ ਕੋਈ ਪੁੰਜ ਲੈ ਕੇ 2m ਚਲਦਾ ਹੈ। ਚਿੱਤਰ 6.13 (ii) ਵਿੱਚ ਉਹ ਉਂਨੀ ਹੀ ਦੂਰੀ ਤੇ ਆਪਣੇ ਪਿੱਛੇ ਰੱਸੀ ਨੂੰ ਖਿੱਚਦੇ ਹੋਏ ਚਲਦਾ ਹੈ। ਰੱਸੀ ਘਿਰਣੀ ਤੇ ਚੜ੍ਹੀ ਹੋਈ ਹੈ ਅਤੇ ਉਸਦੇ ਦੂਸਰੇ ਸਿਰੇ ਤੇ 15 kg ਦਾ ਪੁੰਜ ਲਟਕਿਆ ਹੋਇਆ ਹੈ। ਪਰਿਕਲਨ ਕਰੋ ਕਿ ਕਿਸ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਵੱਧ ਹੈ ?

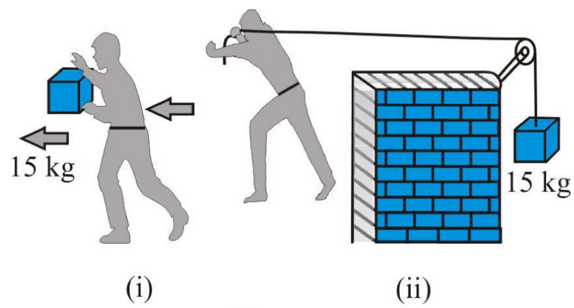
6.6 ਸਹੀ ਵਿਕਲਪ ਨੂੰ ਰੇਖਾਂਕਿਤ ਕਰੋ —

(a) ਜਦੋਂ ਕੋਈ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿਣ ਵਾਲਾ ਬਲ ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਤੇ ਧਨਾਤਮਕ ਕਾਰਜ ਕਰਦਾ ਹੈ ਤਾਂ ਵਸਤੂ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵੱਧਦੀ ਹੈ/ਘੱਟਦੀ ਹੈ। ਅਪਰਿਵਰਤਿਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ।

(b) ਕਿਸੇ ਵਸਤੂ ਦੁਆਰਾ ਰਗੜ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਨਤੀਜਾ ਸਾਨੂੰ ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਇਸਦੀ ਗਤਿਜ/ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਹਾਨੀ ਦੇ ਰੂਪ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਾਪਤ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

(c) ਕਿਸੇ ਬਹੁਕਣ ਸਿਸਟਮ ਦੇ ਕੁੱਲ ਸੰਵੇਗ ਪਰਿਵਰਤਨ ਦੀ ਦਰ ਸਿਸਟਮ ਦੇ ਬਾਹਰੀ ਬਲ/ਅੰਤਰਿਕ ਬਲਾਂ ਦੇ ਜੋੜ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

(d) ਕਿਸੇ ਦੋ ਪਿੰਡਾਂ ਦੇ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰਾਂ ਵਿੱਚ ਉਹ ਰਾਸ਼ੀਆਂ, ਜੋ ਟੱਕਰ ਦੇ ਬਾਦ ਨਹੀਂ ਬਦਲਦੀਆਂ ਹਨ, ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ/ਕੁੱਲ ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ/ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ. 6.13

6.7 ਦੱਸੋ ਕਿ ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਕਥਨ ਸੱਚ ਹਨ ਜਾਂ ਨਹੀਂ। ਆਪਣੇ ਉੱਤਰ ਦੇ ਲਈ ਕਾਰਨ ਵੀ ਦਿਓ।

(a) ਕੋਈ ਦੋ ਪਿੰਡਾਂ ਦੀ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਵਿੱਚ, ਹਰੇਕ ਪਿੰਡ ਦਾ ਸੰਵੇਗ ਅਤੇ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ।

(b) ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਚਾਹੇ ਕੋਈ ਵੀ ਅੰਤਰਿਕ ਜਾਂ ਬਾਹਰੀ ਬਲ ਕਿਉਂ ਨਾ ਲੱਗ ਰਿਹਾ ਹੋਵੇ, ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਕੁੱਲ ਊਰਜਾ ਹਮੇਸ਼ਾਂ ਹੀ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ।

(c) ਕੁਦਰਤ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਬਲ ਦੇ ਲਈ ਕਿਸੇ ਬੰਦ ਲੂਪ ਵਿੱਚ, ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਦੀ ਗਤੀ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਜ਼ੀਰੋ ਹੁੰਦਾ ਹੈ।

(d) ਕਿਸੇ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਵਿੱਚ, ਕਿਸੇ ਸਿਸਟਮ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ, ਅਰੰਭਿਕ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਤੋਂ ਸਦਾ ਘੱਟ ਹੁੰਦੀ ਹੈ।

6.8 ਨਿਮਨਲਿਖਤ ਦਾ ਉੱਤਰ ਧਿਆਨਪੂਰਵਕ ਦਿਓ —

(a) ਕੋਈ ਦੋ ਬਿਲਿਅਰਡ ਗੇਂਦਾਂ ਵਿੱਚ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਵਿੱਚ, ਕੀ ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਟੱਕਰ ਦੇ ਸਮੇਂ ਦੌਰਾਨ (ਜਦੋਂ ਉਹ ਸੰਪਰਕ ਵਿੱਚ ਹੁੰਦੀਆਂ ਹਨ) ਕੁੱਲ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦੀ ਹੈ ?

(b) ਦੋ ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਕਿਸੇ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਦੀ ਲਘੂ ਅਵਧੀ ਵਿੱਚ ਕੀ ਕੁੱਲ ਰੇਖੀ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਰਹਿੰਦਾ ਹੈ ?

(c) ਕਿਸੇ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਦੇ ਲਈ ਪ੍ਰਸ਼ਨ (a) ਅਤੇ (b) ਦੇ ਲਈ ਤੁਹਾਡੇ ਉੱਤਰ ਕੀ ਹਨ ?

(d) ਜੇ ਦੋ ਬਿਲਿਅਰਡ ਗੇਂਦਾਂ ਦੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਸਿਰਫ਼ ਉਹਨਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ, ਵਖਰੇਵਾਂ ਦੂਰੀ (separation distance) ਤੇ ਨਿਰਭਰ ਕਰਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੋਵੇਗੀ ਜਾਂ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ ? (ਧਿਆਨ ਦਿਓ ਕਿ ਇੱਥੇ ਅਸੀਂ ਟੱਕਰ ਦੇ ਦੌਰਾਨ ਬਲ ਦੇ ਸੰਗਤ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ ਗੱਲ ਕਰ ਰਹੇ ਹਾਂ, ਨਾ ਕਿ ਗੁਰੂਤਵੀ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਦੀ)

6.9 ਕੋਈ ਪਿੰਡ ਜੋ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਹੈ, ਸਥਿਰ ਪ੍ਰਵੇਗ ਨਾਲ ਇੱਕ ਵਿਮੀ ਗਤੀ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਇਸਨੂੰ ਕਿਸੇ t ਸਮੇਂ ਤੇ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਸ਼ਕਤੀ ਕਿਸ ਦੇ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੈ।

(i) $t^{1/2}$ (ii) t (iii) $t^{3/2}$ (iv) t^2

6.10 ਇੱਕ ਪਿੰਡ ਸਥਿਰ ਸ਼ਕਤੀ ਦੇ ਸੋਮੇ ਦੇ ਪ੍ਰਭਾਵ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਹੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਗਤੀਮਾਨ ਹੈ। ਇਸਦਾ t ਸਮੇਂ ਵਿੱਚ ਵਿਸਥਾਪਨ ਸਿੱਧਾ ਅਨੁਪਾਤੀ ਹੈ।

(i) $t^{1/2}$ (ii) t (iii) $t^{3/2}$ (iv) t^2

6.11 ਕਿਸੇ ਪਿੰਡ ਤੇ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਬਲ ਲਗਾ ਕੇ ਉਸ ਨੂੰ ਕਿਸੇ ਨਿਰਦੇਸ਼ ਅੰਕ ਪ੍ਰਣਾਲੀ ਦੇ ਅਨੁਸਾਰ z-ਧੁਰੇ ਦੇ ਨਾਲ-ਨਾਲ ਗਤੀ ਕਰਨ ਦੇ ਲਈ ਮਜਬੂਰ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਹੈ ਜੋ ਇਸ ਪ੍ਰਕਾਰ ਹੈ—

$$\mathbf{F} = (-\hat{\mathbf{i}} + 2\,\hat{\mathbf{j}} + 3\,\hat{\mathbf{k}})\text{N}$$

ਜਿੱਥੇ $\hat{\mathbf{i}}, \hat{\mathbf{j}}, \hat{\mathbf{k}}$ ਕ੍ਰਮਵਾਰ : x-, y- ਅਤੇ z-ਧੁਰੇ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਇਕਾਈ ਸਦਿਸ਼ (unit vector) ਹਨ। ਇਸ ਵਸਤੂ ਨੂੰ z-ਧੁਰੇ ਦੀ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ 4m ਦੀ ਦੂਰੀ ਤੱਕ ਗਤੀ ਕਰਵਾਉਣ ਲਈ ਲਗਾਏ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਕਿੰਨਾਂ ਹੋਵੇਗਾ ?

6.12 ਕਿਸੇ ਕਾਸਮਿਕ ਕਿਰਨ (cosmic ray) ਪ੍ਰਯੋਗ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਅਤੇ ਇੱਕ ਪ੍ਰੋਟਾਨ ਦਾ ਸੰਸੂਚਨ ਹੁੰਦਾ ਹੈ ਜਿਸ ਵਿੱਚ ਪਹਿਲੇ ਕਣ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ 10 keV ਹੈ ਅਤੇ ਦੂਸਰੇ ਕਣ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ 100 keV ਹੈ। ਇਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਕਿਹੜਾ ਬਹੁਤ ਤੇਜ਼ ਗਤੀ ਨਾਲ ਗਤੀਸ਼ੀਲ ਹੋਵੇਗਾ,

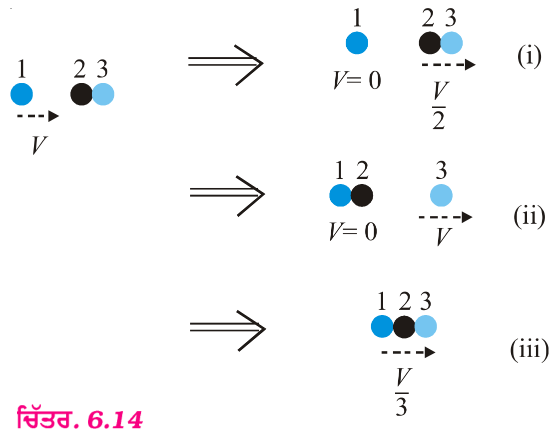
ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਜਾਂ ਪ੍ਰੋਟਾਨ ? ਇਹਨਾਂ ਦੀਆਂ ਚਾਲਾਂ ਦਾ ਅਨੁਪਾਤ ਪਤਾ ਕਰੋ ? ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਦਾ ਪੁੰਜ = 9.11×10^{-31} kg, ਪ੍ਰੋਟਾਨ ਦਾ ਪੁੰਜ = 1.67×10^{-27} kg, 1 eV = 1.60×10^{-19} J)

6.13 2 mm ਅਰਧ ਵਿਆਸ ਦੀ ਵਰਖਾ ਦੀ ਕੋਈ ਬੂੰਦ 500 m ਦੀ ਉਚਾਈ ਤੋਂ ਧਰਤੀ ਤੇ ਡਿਗਦੀ ਹੈ। ਇਹ ਆਪਣੀ ਆਰੰਭਿਕ ਉਚਾਈ ਦੇ ਅੱਧੇ ਹਿੱਸੇ ਤੱਕ (ਹਵਾ ਦੇ ਵਿਸਕਸ ਵਿਰੋਧ ਦੇ ਕਾਰਨ) ਘੱਟਦੇ ਪ੍ਰਵੇਗ ਨਾਲ ਡਿਗਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਆਪਣੀ ਅਧਿਕਤਮ (ਸੀਮਾਂਤ) ਚਾਲ ਪ੍ਰਾਪਤ ਕਰ ਲੈਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਉਸਦੇ ਬਾਦ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀ ਕਰਦੀ ਹੈ। ਵਰਖਾ ਦੀ ਬੂੰਦ ਤੇ ਉਸਦੀ ਯਾਤਰਾ ਦੇ ਪਹਿਲੇ ਅਤੇ ਦੂਸਰੇ ਅੱਧੇ ਭਾਗ ਵਿੱਚ ਗੁਰੂਤਵੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਕਿੰਨਾ ਹੋਵੇਗਾ ? ਜੇ ਬੂੰਦ ਦੀ ਚਾਲ ਧਰਤੀ ਤੱਕ ਪਹੁੰਚਣ ਤੇ 10 m s^{-1} ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਸੰਪੂਰਨ ਯਾਤਰਾ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧੀ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਕਿੰਨਾਂ ਹੋਵੇਗਾ ?

6.14 ਕਿਸੇ ਗੈਸ-ਪਾਤਰ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਅਣੂ 200 m s^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਲੰਬ ਦੇ ਨਾਲ 30° ਦਾ ਕੋਣ ਬਣਾਉਂਦਾ ਹੋਇਆ ਖਿਤਜੀ ਕੰਧ ਨਾਲ ਟਕਰਾ ਕੇ ਮੁੜ ਉਸੇ ਚਾਲ ਨਾਲ ਵਾਪਿਸ ਮੁੜ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਕੀ ਇਸ ਟੱਕਰ ਵਿੱਚ ਸੰਵੇਗ ਸੁਰੱਖਿਅਤ ਹੈ ? ਇਹ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੈ ਜਾਂ ਗੈਰ-ਲਚਕਦਾਰ।

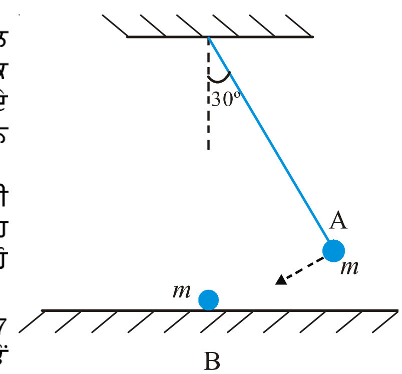
6.15 ਕਿਸੇ ਇਮਾਰਤ ਦੇ ਧਰਤੀ ਤਲ ਵਾਲੀ ਮੰਜਿਲ (ground floor) ਤੇ ਲੱਗਾ ਕੋਈ ਪੰਪ 30 m^3 ਆਇਤਨ ਦੀ ਪਾਣੀ ਦੀ ਟੈਂਕੀ ਨੂੰ 15 ਮਿੰਟ ਵਿੱਚ ਭਰ ਦਿੰਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਟੈਂਕੀ ਧਰਤੀ ਤਲ ਤੋਂ 40 m ਉਪਰ ਹੋਵੇ ਅਤੇ ਪੰਪ ਦੀ ਸਮਰੱਥਾ (efficiency) 30% ਹੋਵੇ ਤਾਂ ਪੰਪ ਦੁਆਰਾ ਕਿੰਨੀ ਬਿਜਲੀ ਸ਼ਕਤੀ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕੀਤੀ ਗਈ ?

6.16 ਦੋ ਸਮਰੂਪੀ ਬਾਲ ਬਿਅਰਿੰਗ (ball bearing) ਇੱਕ-ਦੂਸਰੇ ਦੇ ਸੰਪਰਕ ਵਿੱਚ ਹਨ ਅਤੇ ਕਿਸੇ ਰਗੜ ਰਹਿਤ ਮੇਜ਼ ਤੇ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਹਨ। ਇਹਨਾਂ ਦੇ ਨਾਲ ਬਰਾਬਰ ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਦੂਸਰਾ ਬਾਲ ਬਿਅਰਿੰਗ, ਜੋ ਸ਼ੁਰੂ ਵਿੱਚ V ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀਮਾਨ ਹੈ, ਆਹਮੋ-ਸਾਹਮਣੇ ਸਿੱਧੀ ਟੱਕਰ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਜੇ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੈ ਤਾਂ ਟੱਕਰ ਦੇ ਬਾਦ ਨਿਮਨਲਿਖਤ (ਚਿੱਤਰ 6.14) ਵਿੱਚ ਕਿਹੜਾ ਨਤੀਜਾ ਸੰਭਵ ਹੈ ?



ਚਿੱਤਰ. 6.14

6.17 ਕਿਸੇ ਡੋਲਕ ਦੇ ਗੋਲਕ (bob of a pendulum) A ਨੂੰ, ਜੋ ਖੜ੍ਹੇ ਦਾਅ (vertical) ਦਿਸ਼ਾ ਨਾਲ 30° ਦਾ ਕੋਣ ਬਣਾਉਂਦਾ ਹੈ, ਛੱਡ ਦਿੱਤੇ ਜਾਣ ਤੇ ਮੇਜ਼ ਤੇ, ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਰੱਖੇ ਦੂਸਰੇ ਗੋਲਕ B ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਂਦਾ ਹੈ, ਜਿਵੇਂ ਕਿ ਚਿੱਤਰ 6.15 ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਹੈ। ਗਿਆਤ ਕਰੋ ਕਿ ਟੱਕਰ ਦੇ ਬਾਦ ਗੋਲਕ A ਕਿੰਨਾਂ ਉੱਚਾ ਚੁੱਕਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ? ਗੋਲਕਾਂ ਦੇ ਅਕਾਰਾਂ ਦੀ ਉਪੇਖਿਆ ਕਰੋ ਅਤੇ ਮੰਨ ਲਉ ਟੱਕਰ ਲਚਕਦਾਰ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ. 6.15

6.18 ਕਿਸੇ ਪੈਂਡੂਲਮ ਦੇ ਗੋਲਕ (bob) ਨੂੰ ਖਿਤਜੀ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚੋਂ ਕੱਢਿਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਜੇ ਪੈਂਡੂਲਮ ਦੀ ਲੰਬਾਈ 1.5 m ਹੈ ਤਾਂ ਸਭ ਤੋਂ ਹੇਠਾਂ ਵਾਲੇ ਬਿੰਦੂ ਤੇ ਆਉਣ ਤੇ ਗੋਲਕ ਦੀ ਚਾਲ ਕੀ ਹੋਵੇਗੀ ? ਇਹ ਦਿੱਤਾ ਗਿਆ ਹੈ ਕਿ ਇਸਦੀ ਅਰੰਭਿਕ ਊਰਜਾ ਦਾ 5% ਅੰਸ਼ ਹਵਾ ਦੇ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਖੈ ਹੋ ਜਾਂਦਾ ਹੈ।

6.19 300 kg ਪੁੰਜ ਦੀ ਕੋਈ ਟਰਾਲੀ 25 kg ਰੇਤ ਦਾ ਬੋਰਾ ਲਏ ਹੋਏ ਕਿਸੇ ਰਗੜ ਰਹਿਤ ਪਥ ਤੇ 27 kmh^{-1} ਦੀ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀਮਾਨ ਹੈ। ਕੁੱਝ ਸਮੇਂ ਬਾਦ ਬੋਰੇ ਵਿੱਚ ਕਿਸੇ ਛੇਦ ਤੋਂ ਰੇਤਾ 0.05 kg s^{-1} ਦੀ ਦਰ ਨਾਲ ਨਿਕਲ ਕੇ ਟਰਾਲੀ ਦੇ ਫਰਸ਼ ਤੇ ਰਿਸੱਣ ਲੱਗਦੀ ਹੈ। ਰੇਤ ਦਾ ਬੋਰਾ ਖ਼ਾਲੀ ਹੋਣ ਦੇ ਬਾਦ ਟਰਾਲੀ ਦੀ ਚਾਲ ਕੀ ਹੋਵੇਗੀ ?

6.20 0.5 kg ਪੁੰਜ ਦਾ ਇੱਕ ਕਣ $v = a x^{3/2}$ ਵੇਗ ਨਾਲ ਸਰਲ ਰੇਖੀ ਗਤੀ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਜਿੱਥੇ $a = 5 m^{-1/2} s^{-1}$ ਹੈ। $x = 0$ ਤੋਂ $x = 2$ m ਤੱਕ ਇਸਦੇ ਵਿਸਥਾਪਨ ਵਿੱਚ ਕੁੱਲ ਬਲ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਕਿੰਨਾਂ ਹੋਵੇਗਾ ?

6.21 ਕਿਸੇ ਪਵਨਚੱਕੀ ਦੇ ਬਲੇਡ, ਖੇਤਰਫਲ A ਦੇ ਚੱਕਰ ਜਿੰਨਾ ਖੇਤਰਫਲ ਸਵੀਪ (sweep) ਕਰਦੇ ਹਨ। (a) ਜੇ ਹਵਾ v ਵੇਗ ਨਾਲ ਚੱਕਰ ਦੀ ਲੰਬ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਵਗਦੀ ਹੈ ਤਾਂ t ਸਮੇਂ ਵਿੱਚ ਇਸ ਤੋਂ ਲੰਘਣ ਵਾਲੀ ਹਵਾ ਦਾ ਪੁੰਜ ਕੀ ਹੋਵੇਗਾ ? (b) ਹਵਾ ਦੀ ਗਤਿਜ ਊਰਜਾ ਕੀ ਹੋਵੇਗੀ ? (c) ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਪਵਨ ਚੱਕੀ ਹਵਾ ਦੀ 25% ਊਰਜਾ ਨੂੰ ਬਿਜਲੀ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਕਰ ਦਿੰਦੀ ਹੈ। ਜੇ $A = 30 m^2$ ਅਤੇ $v = 36$ kmh^{-1} ਅਤੇ ਹਵਾ ਦੀ ਘਣਤਾ 1.2 kg m^{-3} ਹੈ ਤਾਂ ਪੈਦਾ ਹੋਈ ਬਿਜਲਈ ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ ਪਰਿਕਲਨ ਕਰੋ।

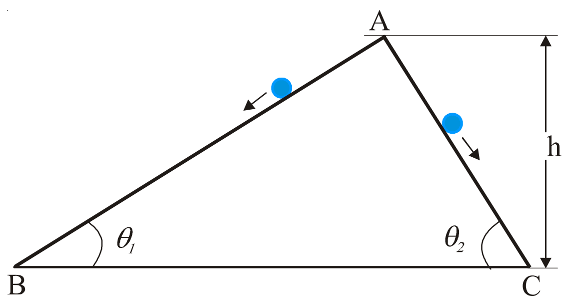
6.22 ਕੋਈ ਵਿਅਕਤੀ ਭਾਰ ਘੱਟ ਕਰਨ ਲਈ 10 kg ਪੁੰਜ ਨੂੰ 0.5 m ਦੀ ਉਚਾਈ ਤੱਕ 1000 ਵਾਰ ਚੁੱਕਦਾ ਹੈ। ਮੰਨ ਲਓ ਕਿ ਹਰੇਕ ਵਾਰ ਪੁੰਜ ਨੂੰ ਹੇਠਾਂ ਲਿਆਉਣ ਵਿੱਚ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵੀ ਹਾਵੀ ਹੁੰਦੀ ਹੈ। (a) ਉਸਨੇ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਕਿੰਨਾਂ ਕੰਮ ਕੀਤਾ ਹੈ ? (b) ਜੇ ਵਸਾ (fat) 3.8×10^7J ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਤੀ ਕਿਲੋਗ੍ਰਾਮ ਆਪੂਰਤੀ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਜੋ ਕਿ 20% ਸਮਰੱਥਾ ਦੀ ਦਰ (efficiency rate) ਨਾਲ ਯੰਤਰਿਕ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਪਰਿਵਰਤਿਤ ਹੋ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਉਹ ਕਿੰਨੀ ਚਰਬੀ ਖ਼ਰਚ ਕਰ ਦੇਵੇਗਾ ?

6.23 ਕੋਈ ਪਰਿਵਾਰ 8 kW ਬਿਜਲਈ ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ ਉਪਭੋਗ ਕਰਦਾ ਹੈ। (a) ਕਿਸੇ ਖਿਤਜੀ ਸਤਹਿ ਤੇ ਸਿੱਧੇ ਆਪਤਿਤ (incident) ਹੋਣ ਵਾਲੀ ਸੌਰ ਊਰਜਾ ਦੀ ਔਸਤ ਦਰ 200 Wm^{-2} ਹੈ। ਜੇ ਇਸ ਊਰਜਾ ਦਾ 20% ਭਾਗ ਲਾਭਦਾਇਕ ਬਿਜਲਈ ਊਰਜਾ ਵਿੱਚ ਰੂਪਾਂਤਰਿਤ ਕੀਤਾ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ ਤਾਂ 8 kW ਦੀ ਬਿਜਲੀ ਆਪੂਰਤੀ ਲਈ ਕਿੰਨੇ ਖੇਤਰਫਲ ਦੀ ਲੋੜ ਹੋਵੇਗੀ ? (b) ਇਸ ਖੇਤਰਫਲ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਕਿਸੇ ਵਿਸ਼ੇਸ਼ ਇਮਾਰਤ ਦੀ ਛੱਤ ਦੇ ਖੇਤਰਫਲ ਨਾਲ ਕਰੋ।

ਵਾਧੂ ਅਭਿਆਸ (ADDITIONAL EXERCISES)

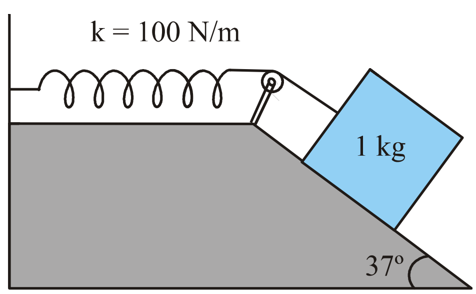
6.24 0.012 ਕਿਲੋਗ੍ਰਾਮ ਦੀ ਕੋਈ ਗੋਲੀ 70 m s^{-1} ਦੀ ਖਿਤਜੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਚਲਦੇ ਹੋਏ 0.4 kg ਪੁੰਜ ਦੀ ਲੱਕੜੀ ਦੇ ਗੁਟਕੇ ਨਾਲ ਟਕਰਾ ਕੇ ਗੁਟਕੇ ਦੇ ਸਾਪੇਖ ਤੁਰੰਤ ਹੀ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਆ ਜਾਂਦੀ ਹੈ। ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਛੱਤ ਨਾਲ ਪਤਲੀਆਂ ਤਾਰਾਂ ਦੁਆਰਾ ਲਟਕਾਇਆ ਗਿਆ ਹੈ। ਪਰਿਕਲਨ ਕਰੋ ਕਿ ਗੁਟਕਾ ਕਿਸ ਉਚਾਈ ਤੱਕ ਉੱਪਰ ਚੁੱਕਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ ? ਗੁਟਕੇ ਵਿੱਚ ਪੈਦਾ ਹੋਈ ਤਾਪ ਊਰਜਾ ਦੀ ਮਾਤਰਾ ਦਾ ਵੀ ਅੰਦਾਜਾ ਲਗਾਓ।

6.25 ਦੋ ਰਗੜ ਰਹਿਤ ਢਾਲੂ ਪਥ, ਜਿਹਨਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਇੱਕ ਦੀ ਢਾਲ ਵੱਧ ਹੈ ਅਤੇ ਦੂਸਰੇ ਦੀ ਢਾਲ ਘੱਟ ਹੈ, ਬਿੰਦੂ A ਤੇ ਮਿਲਦੇ ਹਨ। ਬਿੰਦੂ A ਤੋਂ ਹਰੇਕ ਪਥ ਤੇ ਇੱਕ-ਇੱਕ ਪੱਥਰ ਨੂੰ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਤੋਂ ਹੇਠਾਂ ਵੱਲ ਸਰਕਾਇਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ (ਚਿੱਤਰ 6.16)। ਕੀ ਇਹ ਪੱਥਰ ਇੱਕ ਹੀ ਸਮੇਂ ਤੇ ਹੇਠਾਂ ਪੁੱਜਣਗੇ ? ਕੀ ਇਹ ਉੱਥੇ ਇੱਕੋ ਹੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਪੁੱਜਣਗੇ ? ਵਿਆਖਿਆ ਕਰੋ। ਜੇ $\theta_1 = 30^0$, $\theta_2 = 60^0$ ਅਤੇ $h = 10$ m ਦਿੱਤਾ ਹੈ ਤਾਂ ਦੋਨੋਂ ਪੱਥਰਾਂ ਦੀ ਚਾਲ ਅਤੇ ਉਹਨਾਂ ਦੁਆਰਾ ਹੇਠਾਂ ਪੁੱਜਣ ਲਈ ਲੱਗਿਆ ਸਮਾਂ ਕੀ ਹੈ ?



ਚਿੱਤਰ. 6.16

6.26 ਕਿਸੇ ਰਫ਼ ਢਾਲੂ ਤਲ ਤੇ ਰੱਖਿਆ ਹੋਇਆ 1 kg ਪੁੰਜ ਦਾ ਗੁਟਕਾ ਕਿਸੇ 100 N m^{-1} ਸਪਰਿੰਗ ਸਥਿਰ ਅੰਕ ਵਾਲੇ ਸਪਰਿੰਗ ਨਾਲ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਚਿੱਤਰ 6.17 ਅਨੁਸਾਰ ਜੁੜਿਆ ਹੈ । ਗੁਟਕੇ ਨੂੰ ਸਪਰਿੰਗ ਦੀ ਬਿਨਾਂ ਖਿੱਚੀ ਸਥਿਤੀ ਵਿੱਚੋਂ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚੋਂ ਛੱਡਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਗੁਟਕਾ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਆਉਣ ਤੋਂ ਪਹਿਲਾਂ ਢਾਲੂ ਤਲ ਤੇ 10 cm ਹੇਠਾਂ ਵੱਲ ਖਿਸਕਦਾ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਗੁਟਕੇ ਅਤੇ ਢਾਲੂ ਤਲ ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਰਗੜ ਗੁਣਾਂਕ ਪਤਾ ਕਰੋ। ਮੰਨ ਲਉ ਕਿ ਸਪਰਿੰਗ ਦਾ ਪੁੰਜ ਨਕਾਰਨਯੋਗ ਹੈ ਅਤੇ ਘਿਰਣੀ ਰਗੜ ਰਹਿਤ ਹੈ।

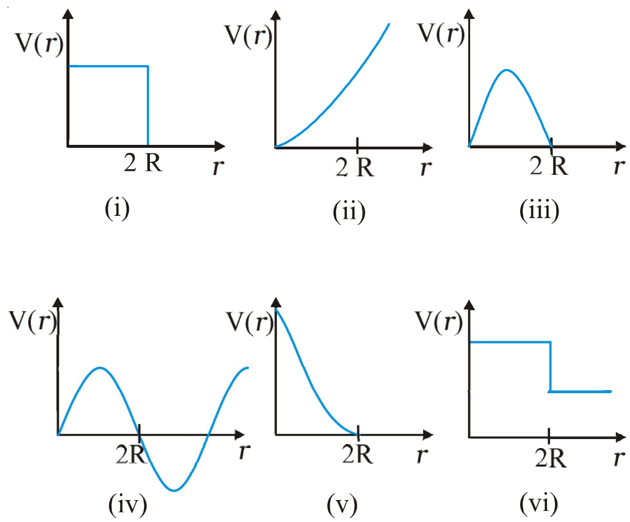


ਚਿੱਤਰ. 6.17

6.27 0.3 kg ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਬੋਲਟ (Bolt) 7 m s^{-1} ਦੀ ਇੱਕ-ਸਮਾਨ ਚਾਲ ਨਾਲ ਹੇਠਾਂ ਆ ਰਹੀ ਕਿਸੇ ਲਿਫਟ ਦੀ ਛੱਤ ਤੋਂ ਡਿਗਦਾ ਹੈ। ਇਹ ਲਿਫਟ ਦੀ ਫਰਸ਼ ਨਾਲ ਟਕਰਾਉਂਦਾ ਹੈ (ਲਿਫਟ ਦੀ ਲੰਬਾਈ = 3 m) ਅਤੇ ਵਾਪਸ ਨਹੀਂ ਮੁੜਦਾ। ਟੱਕਰ ਦੁਆਰਾ ਕਿੰਨੀ ਤਾਪ ਊਰਜਾ ਪੈਦਾ ਹੋਈ ? ਜੇ ਲਿਫਟ ਸਥਿਰ ਹੁੰਦੀ ਹੈ ਤਾਂ ਕੀ ਤੁਹਾਡਾ ਉੱਤਰ ਇਸ ਤੋਂ ਵਖਰਾ ਹੁੰਦਾ ?

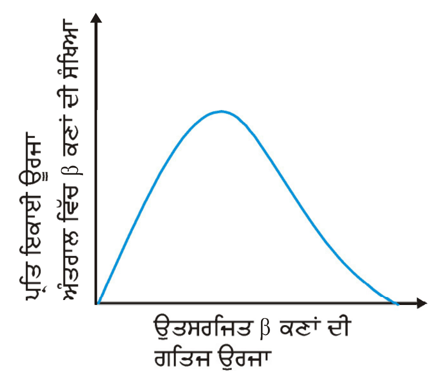
6.28 200 kg ਪੁੰਜ ਦੀ ਕੋਈ ਟਰਾਲੀ ਕਿਸੇ ਰਗੜ ਰਹਿਤ ਪਥ ਤੇ 36 kmh^{-1} ਦੀ ਇਸ ਸਮਾਨ ਚਾਲ ਨਾਲ ਗਤੀਮਾਨ ਹੈ। 20 kg ਪੁੰਜ ਦਾ ਕੋਈ ਬੱਚਾ ਟਰਾਲੀ ਦੇ ਇੱਕ ਸਿਰੇ ਤੋਂ ਦੂਸਰੇ ਸਿਰੇ ਤੱਕ (10 m ਦੂਰ) ਟਰਾਲੀ ਦੇ ਸਾਪੇਖ 4 m s^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ ਟਰਾਲੀ ਦੀ ਗਤੀ ਦੀ ਉਲਟ ਦਿਸ਼ਾ ਵਿੱਚ ਦੌੜਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਟਰਾਲੀ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਕੁੱਦ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਟਰਾਲੀ ਦੀ ਅੰਤਿਮ ਚਾਲ ਕੀ ਹੈ ? ਬੱਚੇ ਦੇ ਦੌੜ ਸ਼ੁਰੂ ਕਰਨ ਦੇ ਸਮੇਂ ਟਰਾਲੀ ਨੇ ਕਿੰਨੀ ਦੂਰੀ ਤੈਅ ਕੀਤੀ ?

6.29 ਹੇਠਾਂ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਚਿੱਤਰ 6.18 ਵਿੱਚ ਦਿੱਤੇ ਗਏ ਸਥਿਤਿਜ ਊਰਜਾ ਵਕਰਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਕਿਹੜੇ ਵਕਰ ਦੋ ਬਿਲਿਅਰਡ ਗੇਂਦਾਂ ਦੀ ਲਚਕਦਾਰ ਟੱਕਰ ਦਾ ਵਰਨਣ ਨਹੀਂ ਕਰੇਗਾ ? ਇੱਥੇ r ਗੇਂਦਾਂ ਦੇ ਕੇਂਦਰਾਂ ਦੇ ਵਿਚਕਾਰ ਦੀ ਦੂਰੀ ਹੈ ਅਤੇ ਹਰੇਕ ਗੇਂਦ ਦਾ ਅਰਧ ਵਿਆਸ R ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ. 6.18

6.30 ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚੋਂ ਕਿਸੇ ਮੁਕਤ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੇ ਖੈ ਤੇ ਵਿਚਾਰ ਕਰੋ $n \rightarrow p + e^-$ ਪ੍ਰਦਰਸ਼ਿਤ ਕਰੋ ਕਿ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਦੇ ਦੋ ਪਿੰਡੀ ਖੈ (two-body decay) ਤੋਂ ਨਿਸ਼ਚਿਤ ਊਰਜਾ ਦਾ ਕੋਈ ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਜ਼ਰੂਰ ਹੀ ਉਤਸਰਜਿਤ ਹੋਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ, ਅਤੇ ਇਸ ਲਈ ਇਹ ਕਿਸੇ ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਜਾਂ ਕਿਸੇ ਨਾਭਿਕ ਦੇ β-ਖੈ (β-decay) ਵਿੱਚ ਪ੍ਰੇਖਿਤ ਲਗਾਤਾਰ ਊਰਜਾ ਵੰਡ (observed continuous energy distribution) ਦਾ ਸਪੱਸ਼ਟੀਕਰਨ ਨਹੀਂ ਦੇ ਸਕਣਾ (ਚਿੱਤਰ 6.19)



ਚਿੱਤਰ. 6.19

[ਨੋਟ: ਇਸ ਅਭਿਆਸ ਦਾ ਹੱਲ ਉਹਨਾਂ ਕਈ ਤਰਕਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਇੱਕ ਹੈ ਜਿਹਨਾਂ ਨੂੰ ਡਬਲਯੂ ਪਾਲੀ (W. Pauli) ਦੁਆਰਾ β-ਖੈ ਦੇ ਖੈ ਉਤਪਾਦਾਂ ਵਿੱਚ ਕਿਸੇ ਤੀਸਰੇ ਕਣ ਦੀ ਹੋਂਦ ਦਾ ਪੂਰਨ ਅਨੁਮਾਨ ਕਰਨ ਲਈ ਦਿੱਤਾ ਗਿਆ ਸੀ। ਇਹ ਕਣ ਨਿਊਟਰੀਨੋ (neutrino) ਦੇ ਨਾਂ ਨਾਲ ਜਾਣਿਆ ਜਾਂਦਾ ਹੈ। ਹੁਣ ਅਸੀਂ ਜਾਣਦੇ ਹਾਂ ਕਿ ਇਹ ਨਿਜੀ ਸਪਿਨ ½ (ਜਿਵੇਂ e^-, p ਜਾਂ n) ਵਾਲਾ ਕੋਈ ਕਣ ਹੈ। ਪਰ ਇਹ ਉਦਾਸੀਨ (neutral) ਹੈ ਜਾਂ ਪੁੰਜ ਰਹਿਤ (massless) (ਇਲੈਕਟ੍ਰਾਨ ਦੇ ਪੁੰਜ ਦੀ ਤੁਲਨਾ ਵਿੱਚ) ਜਾਂ ਇਸਦਾ ਪੁੰਜ ਬਹੁਤ ਹੀ ਘੱਟ ਹੈ ਅਤੇ ਜੋ ਪਦਾਰਥ ਦੇ ਨਾਲ ਬਹੁਤ ਹੀ ਕਮਜ਼ੋਰ ਆਪਸੀ ਕਿਰਿਆ ਕਰਦਾ ਹੈ। ਨਿਊਟ੍ਰਾਨ ਦੀ ਉਚਿਤ ਖੈ-ਪ੍ਰਕਿਰਿਆ ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਹੈ $n \rightarrow p + e^- + \nu$]

ਅਨੁਲੱਗ 6.1 : ਪੈਦਲ ਸੈਰ ਵਿੱਚ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਗਈ ਸ਼ਕਤੀ
POWER CONSUMPTION IN WALKING

ਹੇਠਾਂ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਸਾਰਣੀ ਵਿੱਚ 60 kg ਪੁੰਜ ਦੇ ਬਾਲਗ ਮਨੁੱਖ ਦੁਆਰਾ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਕਿਰਿਆ-ਕਲਾਪਾਂ ਵਿੱਚ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਗਈ ਸ਼ਕਤੀ ਲਗਭਗ ਸੂਚੀ ਵਿਚ ਦਿੱਤੀ ਗਈ ਹੈ।

ਸਾਰਣੀ 6.4 ਕੁਝ ਕਿਰਿਆ-ਕਲਾਪਾਂ ਵਿੱਚ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਗਈ ਸ਼ਕਤੀ (ਲਗਭਗ)

ਕਿਰਿਆ-ਕਲਾਪ	ਸ਼ਕਤੀ (W)
ਸੌਂਦੇ ਸਮੇਂ	75
ਹੌਲ਼ੀ ਸੈਰ	200
ਸਾਈਕਲ ਚਲਾਉਂਦੇ	500
ਦਿਲ ਦੀ ਧੜਕਨ	1.2

ਯੰਤਰਿਕ ਕਾਰਜ ਦਾ ਅਰਥ ਰੋਜ਼ਾਨਾ ਬੋਲਚਾਲ ਵਿੱਚ ਪ੍ਰਚੱਲਿਤ ਸ਼ਬਦ 'ਕਾਰਜ' ਦੇ ਅਰਥ ਤੋਂ ਵੱਖਰਾ ਹੈ। ਜੇ ਕੋਈ ਔਰਤ ਸਿਰ ਤੇ ਭਾਰੀ ਬੋਝ ਲੈ ਕੇ ਖੜ੍ਹੀ ਹੈ ਤਾਂ ਉਹ ਥੱਕ ਜਾਵੇਗੀ ਪਰ ਇਸ ਕਿਰਿਆ ਵਿੱਚ ਔਰਤ ਨੇ ਕੋਈ 'ਯੰਤਰਿਕ ਕਾਰਜ' ਨਹੀਂ ਕੀਤਾ ਹੈ। ਇਸ ਦਾ ਅਰਥ ਇਹ ਬਿਲਕੁਲ ਨਹੀਂ ਕਿ ਮਨੁੱਖ ਦੁਆਰਾ ਸਧਾਰਨ ਕਿਰਿਆ ਕਲਾਪਾਂ ਵਿੱਚ ਕੀਤੇ ਗਏ ਕਾਰਜ ਦਾ ਅੰਦਾਜ਼ਾ ਲਗਾਉਣਾ ਸੰਭਵ ਨਹੀਂ ਹੈ।

ਵਿਚਾਰ ਕਿ ਕੋਈ ਵਿਅਕਤੀ ਸਥਿਰ ਚਾਲ v_0 ਨਾਲ ਪੈਦਲ ਸੈਰ ਕਰ ਰਿਹਾ ਹੈ। ਉਸ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ ਯੰਤਰਿਕ ਕਾਰਜ ਦਾ ਅੰਦਾਜਾ, ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦੁਆਰਾ ਸੌਖਿਆ ਲਗਾਇਆ ਜਾ ਸਕਦਾ ਹੈ। ਮੰਨ ਲਓ।

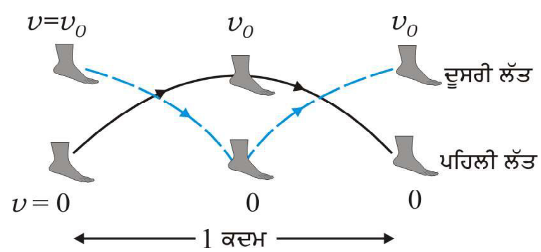
(i) ਪੈਦਲ ਸੈਰ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਮੁੱਖ ਕਾਰਜ ਹਰੇਕ ਕਦਮ ਨਾਲ ਲੱਤਾਂ ਦੇ ਪ੍ਰਵੇਗ ਅਤੇ ਮੰਦਨ ਦਾ ਹੈ। (ਚਿੱਤਰ 6.20 ਦੇਖੋ)

(ii) ਹਵਾ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧ ਨਿਗੁਣਾ ਹੈ।

(iii) ਲੱਤਾਂ ਨੂੰ ਗੁਰੂਤਾ ਬਲ ਦੇ ਵਿਰੁੱਧ ਚੁੱਕਣ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਥੋੜ੍ਹਾ-ਜਿਹਾ ਕਾਰਜ ਨਕਾਰਨ ਯੋਗ ਹੈ।

(iv) ਸੈਰ ਕਰਦੇ ਸਮੇਂ ਹੱਥਾਂ ਦਾ ਹਿਲਾਉਣਾ ਜੋ ਇੱਕ ਆਮ ਗੱਲ ਹੈ ਨਾ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਹੈ।

ਜਿਵੇਂ ਅਸੀਂ ਚਿੱਤਰ 6.20 ਵਿਚ ਦੇਖ ਸਕਦੇ ਹਾਂ, ਹਰੇਕ ਲਾਂਘ ਵਿਚ ਲੱਤ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਤੋਂ ਚਾਲ, ਲਗਭਗ ਤੁਰਣ ਦੀ ਚਾਲ ਦੇ ਬਰਾਬਰ ਲਿਆਈ ਜਾਂਦੀ ਹੈ ਅਤੇ ਫਿਰ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿਚ ਲਿਆਈ ਜਾਂਦੀ ਹੈ।



ਚਿੱਤਰ 6.20 ਪੈਦਲ ਸੈਰ ਵਿੱਚ ਇੱਕ ਲੰਬੀ ਲਾਂਘ ਦਾ ਚਿੱਤਰਣ ਜਦੋਂਕਿ ਇੱਕ ਲੱਤ ਧਰਤੀ ਦੀ ਸਤ੍ਹਾ ਤੋਂ ਅਧਿਕਤਮ ਦੂਰ ਅਤੇ ਦੂਸਰੀ ਲੱਤ ਧਰਤੀ ਤੇ ਹੈ ਅਤੇ ਇਸਦੇ ਉਲਟ (vice-versa)

ਇਸ ਲਈ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਵਿੱਚ ਹਰੇਕ ਲੰਬੀ ਲਾਂਘ ਭਰਨ ਤੇ ਹਰੇਕ ਲੱਤ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ $m_l\, v_0^2$ ਹੋਵੇਗਾ। ਇੱਥੇ m_l ਲੱਤ ਦਾ ਪੁੰਜ ਹੈ। ਲੱਤ ਦੀਆਂ ਮਾਸਪੇਸ਼ੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਪੈਰ ਨੂੰ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਤੋਂ ਚਾਲ v_0 ਤੱਕ ਲਿਆਉਣ ਵਿੱਚ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਗਈ ਊਰਜਾ $m_l\, v_0^2/2$ ਹੈ ਜਦੋਂ ਕਿ ਪੂਰਨ ਲੱਤ ਦੀਆਂ ਮਾਸਪੇਸ਼ੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਦੂਸਰੇ ਪੈਰ ਦੀ ਚਾਲ v_0 ਤੋਂ ਵਿਰਾਮ ਅਵਸਥਾ ਵਿੱਚ ਲਿਆਉਣ ਵਿੱਚ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਗਈ ਫਾਲਤੂ ਊਰਜਾ $m_l\, v_0^2/2$ ਹੈ। ਇਸ ਲਈ ਦੋਨਾਂ ਲੱਤਾਂ ਦੁਆਰਾ ਇੱਕ ਕਦਮ ਭਰਨ ਵਿੱਚ ਕੀਤਾ ਗਿਆ ਕਾਰਜ ਹੈ। (ਚਿੱਤਰ 6.20 ਦਾ ਸਾਵਧਾਨੀਪੂਰਵਕ ਅਧਿਐਨ ਕਰੋ)

$$W_s = 2m_l\, v_0^2 \tag{6.34}$$

ਮੰਨ ਲਓ m_l = 10 kg ਅਤੇ ਹੌਲ਼ੀ ਗਤੀ ਨਾਲ 9 ਮਿੰਟ ਵਿੱਚ 1 ਮੀਲ ਦੌੜਦਾ ਹੈ, ਅਰਥਾਤ SI ਮਾਤਰਕ ਵਿੱਚ, $v_0 = 3\ \text{m s}^{-1}$ । ਇਸ ਲਈ

$$W_s = 180 \text{ ਜੂਲ/ਕਦਮ}$$

ਜੇ ਅਸੀਂ ਇੱਕ ਕਦਮ ਵਿੱਚ ਤੈਅ ਕੀਤੇ ਗਏ ਰਸਤੇ ਦੀ ਲੰਬਾਈ 2 m ਲੈਂਦੇ ਹਾਂ ਤਾਂ ਕੋਈ ਵਿਅਕਤੀ 3 m s^{-1} ਦੀ ਚਾਲ ਨਾਲ 1.5 ਕਦਮ ਪ੍ਰਤਿ ਸੈਕੰਡ ਭਰਦਾ ਹੈ। ਇਸ ਤਰ੍ਹਾਂ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਸ਼ਕਤੀ

$$P = 180 \frac{\text{ਜੂਲ}}{\text{ਕਦਮ}} \times 1.5 \frac{\text{ਕਦਮ}}{\text{ਸੈਕੰਡ}} = 270 \text{ W}$$

ਇੱਥੇ ਸਾਨੂੰ ਧਿਆਨ ਰੱਖਣਾ ਚਾਹੀਦਾ ਹੈ ਕਿ ਖ਼ਰਚ ਕੀਤੀ ਸ਼ਕਤੀ ਦਾ ਆਂਕਲਨ ਅਸਲ ਮੁੱਲ ਨਾਲੋਂ ਬਹੁਤ ਘੱਟ ਹੈ ਕਿਉਂਕਿ ਇਸ ਵਿਧੀ ਵਿੱਚ ਸ਼ਕਤੀ ਹਾਣੀ ਦੇ ਕਈ ਕਾਰਕਾਂ, ਜਿਵੇਂ ਹੱਥਾਂ ਦਾ ਹਿਲਾਉਣਾ, ਹਵਾ ਪ੍ਰਤਿਰੋਧ ਆਦਿ ਦੀ ਉਪੇਖਿਆ ਕੀਤੀ ਗਈ ਹੈ। ਇਸ ਤੋਂ ਇਲਾਵਾ ਦਿਲਚਸਪ ਗੱਲ ਇਹ ਹੈ ਕਿ ਅਸੀਂ ਉਪੇਖਿਅਤ ਵੱਖ-ਵੱਖ ਬਲਾਂ ਨੂੰ ਵੀ ਗਣਨਾ ਵਿੱਚ ਕੋਈ ਮਹੱਤਵ ਨਹੀਂ ਦਿੱਤਾ ਹੈ। ਬਲਾਂ ਵਿੱਚੋਂ ਮੁੱਖ ਤੌਰ 'ਤੇ ਰਗੜ ਬਲ ਅਤੇ ਸਰੀਰ ਦੀਆਂ ਹੋਰ ਮਾਸਪੇਸ਼ੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਲੱਤਾਂ ਤੇ ਲੱਗਣ ਵਾਲੇ ਬਲਾਂ ਦਾ ਆਂਕਲਨ ਕਰ ਪਾਉਣਾ ਮੁਸ਼ਕਲ ਹੈ। ਰਗੜ ਬਲ ਇੱਥੇ 'ਕੋਈ' ਕਾਰਜ ਨਹੀਂ ਕਰਦਾ ਹੈ ਅਤੇ ਅਸੀਂ ਕਾਰਜ ਊਰਜਾ ਪ੍ਰਮੇਯ ਦੀ ਵਰਤੋਂ ਕਰਕੇ ਮਾਸਪੇਸ਼ੀਆਂ ਦੁਆਰਾ ਕੀਤੇ ਗਏ 'ਕਾਰਜ' ਦੇ ਆਕਲਨ ਵਿੱਚ ਬਹੁਤ ਮੁਸ਼ਕਲ ਕੰਮ ਤੋਂ ਬਾਹਰ ਨਿਕਲ ਆਏ। ਇਸ ਪ੍ਰਕਾਰ, ਅਸੀਂ ਪਹੀਏ ਦੇ ਲਾਭ ਵੀ ਦੇਖ ਸਕਦੇ ਹਾਂ। ਪਹੀਆ ਮਨੁੱਖ ਨੂੰ ਬਿਨਾਂ ਕਿਸੇ ਚਲਣ ਅਤੇ ਰੁਕਾਵਟ ਦੇ ਬਿਨਾਂ ਗਤੀ ਪ੍ਰਦਾਨ ਕਰਦਾ ਹੈ।