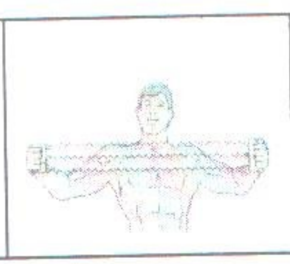
প্রধান শব্দ (Key Words) : কাজ, কাজের একক, শক্তি, স্থিতিস্থাপক বল, গতিশক্তি, স্থিতিশক্তি, ক্ষমতা, ক্ষমতার একক, অসংরক্ষণশীল বল, কর্মক্ষমতা।

৫
কাজ, শক্তি ও ক্ষমতা
WORK, ENERGY AND POWER

সূচনা
Introduction

কাজ, শক্তি ও ক্ষমতা এ তিনটি শব্দ আমাদের অতি পরিচিত। আমরা দৈনন্দিন জীবনে কাজ শব্দটিকে শারীরিক কিংবা মানসিক যে কোনো কাজের জন্য ব্যবহার করে থাকি। তাই সাধারণ অর্থে **কোনো কিছু করার নামই কাজ**। যেমন রিকশাওয়ালা যখন রিকসা টানে তখন সে কাজ করে, কুলি যখন মাল বহন করে তখন সে কাজ করে, ঘোড়া যখন গাড়ি টানে তখন এটি কাজ করে ইত্যাদি। এ থেকে স্পষ্ট যে কাজ শব্দটি দৈনন্দিন জীবনে কোনো নির্দিষ্ট অর্থে ব্যবহৃত না হয়ে ব্যাপক অর্থে ব্যবহৃত হয়। পদার্থবিজ্ঞানে কাজ বলতে নির্দিষ্ট একটি অর্থ বুঝায়। আমরা ক্ষমতা ও শক্তি উভয়ই সাধারণভাবে একই অর্থে ব্যবহার করি। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এরা এক নয়। এ অধ্যায়ে কাজ, ক্ষমতা ও শক্তির প্রকৃত ব্যাখ্যা এবং এদের সম্পর্কিত বিভিন্ন সম্পর্ক আলোচনা করা হবে।

এই অধায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- কাজ ও শক্তির সর্বজনীন ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বল ও সরণের সাথে কাজের ভেক্টর সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- স্থির বল ও পরিবর্তনশীল বল দ্বারা সম্পাদিত কাজ বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- স্থিতিস্থাপক বল ও অভিকর্ষ বলের বিপরীতে সম্পাদিত কাজের তুলনা করতে পারবে।
- গতিশক্তির গাণিতিক রাশিমালা প্রতিপাদন ও সমস্যা সমাধানে এর ব্যবহার করতে পারবে।
- **ব্যবহারিক :**
  একটি স্প্রিং এর বিভব শক্তি পরিমাপ করতে পারবে।
- শক্তির নিত্যতার নীতি ব্যবহার করে বিভিন্ন সমস্যার সমাধান করতে পারবে।
- ক্ষমতা, বল ও বেগের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- সংরক্ষণশীল ও অসংরক্ষণশীল বল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কোনো সিস্টেমের ক্ষেত্রে কর্মদক্ষতা হিসাব করতে পারবে।

৫·১ কাজ ও শক্তির সর্বজনীন ধারণা
Universal concept of Work and Energy

কাজ
Work

সাধারণভাবে কোনো কিছু করাকে কাজ বলে। যেমন—পড়াশোনা করা, কারখানায় কাজ করা, সাইকেল চালানো ইত্যাদি। বিজ্ঞানের ভাষায় কাজের অর্থ আলাদা।

বল প্রয়োগ করলে বস্তুর সরণ ঘটলে তখনই কেবল কাজ হয়। যেমন একটি বইকে টেবিলের উপর থেকে নিচে ফেলে দেওয়া হলো। মাথায় বোঝা নিয়ে একজন লোক সিঁড়ি বেয়ে উপরে উঠল, এই দুটি উদাহরণ দ্বারা কাজ করা বুঝায়। প্রথম ক্ষেত্রে অভিকর্ষ বলের দিকে সরণ হয়েছে। আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে অভিকর্ষ বলের বিপরীতে সরণ হয়েছে। তাই উভয় ক্ষেত্রে কাজ হয়েছে। কিন্তু একজন লোক কাঁধে বোঝা নিয়ে এক স্থানে স্থির থেকে খুব ক্লান্ত হয়ে পড়লেও কোনো কাজ হবে না। কারণ বোঝাটির কোনো সরণ হচ্ছে না। এই আলোচনা থেকে বোঝা যায় যে—

কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে যদি বস্তুর সরণ ঘটে কেবলমাত্র তখনই কাজ করা হয়। কিন্তু বল প্র করলেও যদি বস্তুর সরণ না ঘটে তাহলে কোনো কাজ হয় না।

কাজের একক : কাজের একক নিউটন-মিটার (N–m)। একে জুল (J) বলে। অর্থাৎ 1 জুল = 1 নিউটন মিটার।

আমরা আমাদের দৈনন্দিন জীবনে আমাদের চারপাশে কাজের অনেক উদাহরণ দেখতে পাই। ছেলেরা ফু খেলছে ও রিকশাওয়ালা রিকশা চালাচ্ছে, ফেরিওয়ালা জিনিস বিক্রি করে বেড়াচ্ছে, কৃষক গরু দিয়ে মাঠে চালাচ্ছে ইত্যাদি।

নিচের উদাহরণগুলো লক্ষ করা যাক :

(১) মিলন বই নিয়ে ক্লাসে দাঁড়িয়ে আছে।

(২) রানা জোরে দেওয়াল দুই হাত দিয়ে ঠেলছে।

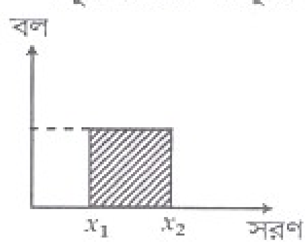
(৩) রিমি একটি খেলনাকে ঠেলে ঘরের এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে পাঠিয়ে দিল।

যেহেতু বল প্রয়োগে বস্তু গতিশীল হলেই কেবল কাজ হয় তাই প্রথম ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কোনো কাজ হ কিন্তু তৃতীয় ক্ষেত্রে কাজ হয়েছে। তাই কাজকে নিম্নোক্ত উপায়ে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগে বস্তুর সরণ ঘটলে প্রযুক্ত বল ও বলের অভিমুখে সরণের উপাং গুণফলকে কাজ বলে।

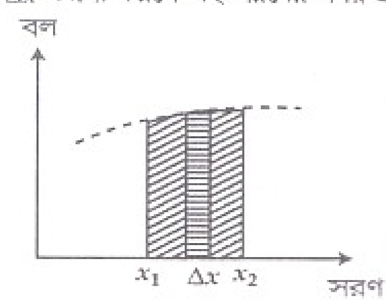
লেখচিত্র দ্বারা কাজের বর্ণনা
Graphical representation of work

বস্তুর সরণের অভিমুখে প্রযুক্ত বলের উপাংশকে কোটি বরাবর এবং সরণের মানকে ভুজ বরাবর সূচিত একটি লেখচিত্র আঁকা হলো [চিত্র ৫˙১(ক)]। এই লেখচিত্রের নিচে অব ক্ষেত্রফল কৃত কাজের সমান হয়।প্রযুক্ত বল ধ্রুবক হলে লেখচিত্রটি x-অ সমান্তরাল সরলরেখা হয়। মনে করি, এই বলের ক্রিয়ায় বস্তুটি x_1 অব থেকে x_2 অবস্থানে সরে যায়। তখন কৃত কাজের পরিমাণ লেখচিত্র, x- এবং x_1 ও x_2-তে আঁকা দুটি কোটির মধ্যে সীমাবদ্ধ আয়তক্ষে ক্ষেত্রফলের সমান হয়। চিত্রে এই আয়তক্ষেত্রটিকে রেখাঙ্কিত করে দেখ হয়েছে।



চিত্র ৫˙১(ক)

প্রযুক্ত বল পরিবর্তনশীল হলে লেখচিত্রটি যে কোনো আকারের হতে পারে [চিত্র ৫˙১(খ)]। এখানেও কাজের পরিমাণ আগের পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়। বস্তুর অতি ক্ষুদ্র সরণ Δx কল্পনা করলে এই সরণের সময় প্র বল F কার্যত ধ্রুবক থাকে বলে ধরা যায়। ফলে ঐ ক্ষুদ্র সরণের জন্য কৃত কাজের পরিমাণ $F\Delta x$ হয়। এই কাজ অনুভূমিক রেখাংশে আঁকা সরু ফালির ক্ষেত্রফলের সমান হয়। x_1 থেকে x_2 পর্যন্ত সরণকে আমরা এরকম অসংখ্য অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সরণ Δx-এর সমষ্টি বলে কল্পনা করতে পারি; প্রতিটির জন্য কৃত কাজ $F\Delta x$ লেখচিত্র থেকে নির্ণয় করে যোগ করলে মোট কৃত কাজ পাওয়া যায়। অতএব, মোট কৃত কাজ আগের মতো লেখচিত্র, x-অক্ষ এবং x_1 এবং x_2-তে আঁকা দুটি কোটির মধ্যে সীমাবদ্ধ ক্ষেত্রফলের সমান হয়।



চিত্র ৫˙১(খ)

অর্থাৎ কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে যদি বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ ঘটে কেবলমাত্র তখনই করা বুঝায়। বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল ও ঐ বলের অভিমুখে বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণের গুণফল দ্বারা কাজের পরি করা হয়।

অর্থাৎ কাজ = প্রযুক্ত বল × বলের অভিমুখে বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ।

$$\therefore W = Fs \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.1$$

আর যদি বস্তুর সরণ বলের অভিমুখে না হয়ে বলের অভিমুখের সাথে θ কোণে হয় তাহলে

কাজ = বল × বলের দিকে সরণের উপাংশ

$$\therefore W = Fs\cos\theta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.2$$

এখন, বল $\vec{F}$ এবং $\vec{s}$ সরণ ভেক্টর রাশি হওয়ায় কাজ W-কে প্রকাশ করা যায়,

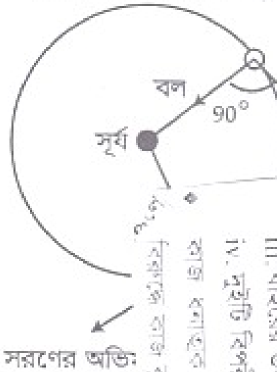
$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.3)$$

একক : কাজের এস. আই. একক হলো জুল (Joule) বা নিউটন-মিটার (N-m)। কাজ একটি স্কেলার রাশি। 1 নিউটন বল প্রয়োগে কোনো বস্তুর 1 মিটার সরণ হলে যে কাজ হয় তাকে 1 জুল বলে।

কাজের মাত্রা : $[W] = [F][s] = MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$

নিচের ঘটনাগুলো পড়ে কাজ হওয়া এবং না হওয়ার কারণ জেনে নাও

* পৃথিবী সূর্যের চারদিকে ঘুরছে, যে কোনো মুহূর্তে পৃথিবীর সরণের অভিমুখ ঐ বৃত্তচাপের স্পর্শক বরাবর হয় চিত্র ৫.২)। কিন্তু সূর্য পৃথিবীকে যে মহাকর্ষ বলে আকর্ষণ করে তা সব সময় পৃথিবী থেকে সূর্যের অভিমুখে অর্থাৎ বৃত্তচাপের ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্র অভিমুখে ক্রিয়া করে। অতএব সূর্যের আকর্ষণ বলের অভিমুখ ও পৃথিবীর সরণের অভিমুখ সবসময় পরস্পরের উপর লম্ব হওয়ায় পৃথিবীর আবর্তনের সময় সূর্যের মহাকর্ষ বল কোনো কাজ করে না। সুতরাং পৃথিবীর আবর্তনের ক্ষেত্রে সূর্যের মহাকর্ষ বল কোনো কাজ করবে না।



* হাতে একটি ব্যাগ নিয়ে সমতল পথে হাঁটলে ব্যাগটির ওজন অর্থাৎ অভিকর্ষ বল কোনো কাজ করে না। কারণ সমতল পথে হাঁটায় ব্যাগটির সরণ অনুভূমিক রেখা বরাবর অর্থাৎ অভিকর্ষীয় বলের লম্ব দিকে হয়। তাই ব্যাগটির সরণ হলেও অভিকর্ষ বল কোনো কাজ করে না। অতএব এক্ষেত্রে অভিকর্ষ বল কাজহীন বল। কিন্তু ব্যাগ নিয়ে উঁচু-নিচু পথে হাঁটলে অভিকর্ষ বল কাজ করে।

* একটি পাথরে দড়ি বেঁধে ঘোরালে পাথরটি হাতের আঙ্গুলের চারদিকে দড়ির টান হলো অভিকেন্দ্র বল। অতএব পাথরটি ঘুরবার সময় দড়ির টান কোনো কাজ

কাজ : পানি থেকে সদ্য তুলে আনা একটি চিংড়ি মাছকে মাটির উপর রাখ। এবার মাছটির গায়ের দিকে ঠেলে দাও। কী দেখতে পাবে ? চিংড়ি মাছটি সোজা উপরের দিক মাছটি কর্তৃক কোনো কাজ হবে কী ?

কাজের সংজ্ঞা থেকে আমরা জানি বল ক্রিয়া করলেও (i) যদি বলের প্রয়োগ বি $W = 0$ হয় (ii) যদি বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ বলের অভিমুখের লম্বদিকে হয় অর্থাৎ হলে $W = 0$ হয়। তাই এক্ষেত্রে কোনো কাজ হয় নি।

একাধিক বল দ্বারা কাজ :

যদি বস্তুতে একাধিক বল প্রযুক্ত হয়, তাহলে ঐ বলগুলি দ্বারা কাজের মোট প যোগফলের সমান হয়। ঐ বলগুলির লব্ধি দ্বারা কাজের পরিমাণও একই হয়।

বলের দ্বারা কাজ :

যদি চলন্ত একটি ফুটবলে পা দিয়ে গতির দিকে বল প্রয়োগ করা হয় তাহলে সরে যায়। গাছ থেকে একটি আম মাটিতে ফেলে দিলে তা অভিকর্ষের প্রভাবে নিচে পড়বে। উভয়ক্ষেত্রে কাজ ধনাত্মক বা বলের দ্বারা কাজ বুঝায়। অতএব বলা যায় বল প্রয়োগ করার ফলে যদি বলের প্রয়োগ বিন্দু বলের ক্রিয়া অভিমুখে সরে যায় বা বলের দিকে সরণের উপাংশ থাকে, তাহলে বলের দ্বারা কাজ বুঝায়। এক্ষেত্রে বলের দ্বারা কাজ **ধনাত্মক কাজ**।

বলের বিরুদ্ধে কাজ :

একজন লোক মাটি থেকে একটি চাউলের বস্তাকে মাথার উপর তুলল। আবার একটি বইকে মেঝে থেকে আলমারীতে তুলল। এই দুটি ক্ষেত্রে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কাজ করা হয়। সুতরাং যদি একটি বস্তুর উপর ক্রিয়ারত বলের বিপরীত দিকে বস্তুটিকে সরানো হয় অর্থাৎ বলের অভিমুখের বিপরীত দিকে বলের প্রয়োগ বিন্দু সরে যায়, তবে বলের বিরুদ্ধে কাজ হয়েছে বুঝায়। এক্ষেত্রে বলের বিপরীতে কাজ **ঋণাত্মক কাজ**।

□ পড়ন্ত বস্তুর সূত্রগুলো জানতে হবে। যেমনঃ
(i) যতই নিচে নামবে ততই স্থিতিশক্তি হ্রাস ও গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়।
(ii) পড়ন্ত বস্তুর প্রতিবিন্দুতে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফল সমান।
(iii) বস্তুটি মাটি স্পর্শ করলে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি, শব্দশক্তি, তাপশক্তি ও যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

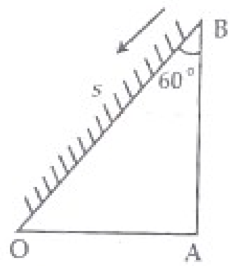
□ ধনাত্মক কাজের উদাহরণঃ
i. একটি বস্তুকে ছাদের উপর হতে নিচে ফেলে দেওয়া।
ii. একটি চলন্ত ফুটবলকে বল প্রয়োগ করলে যদি ফুটবলটি বলের দিকে সরে যায়।
iii. বাইরের উৎস হতে মহাকর্ষীয় বলের বিপরীতে কাজ।
iv. দুইটি বিপরীত চার্জ বা আধান আকর্ষিত হলে।
কাজ ধনাত্মক হলে বলের দ্বারা কাজ বুঝায়। কাজ ঋণাত্মক হলে বলের বিরুদ্ধে কাজ বুঝায়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 150 kg ভরের এক ব্যক্তি 50 kg ভরের একটি বোঝা নিয়ে 4m দীর্ঘ একটি সিঁড়ি বেয়ে নাম যদি সিঁড়িটি দেওয়ালের সাথে 60° কোণে থাকে তবে সে কত কাজ করল নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = Fs\cos\theta$$
$$= mg\,s\cos\theta$$
$$= 200 \times 4 \times 9{\cdot}8 \times \cos 60^\circ$$
$$= 200 \times 4 \times 9{\cdot}8 \times 0{\cdot}5$$
$$= 3920\ \text{J}$$



চিত্র ৫.৩

এখানে,

ভর, $m = 150 + 50 = 200$ kg

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9{\cdot}8$ ms

কোণ, $\theta = 60^\circ$

$s = 4$ m

২। একটি কণার উপর $\vec{F} = (5\hat{i} + 3\hat{j} - 2\hat{k})$ N বল প্রয়োগে কণাটির $\vec{r} = (3\hat{i} - 2\hat{j} + \hat{k})$ m সরণ হয় বল দ্বারা সম্পাদিত কাজ কত?

আমরা জানি,

$$W = \vec{F}\cdot\vec{r}$$
$$= (5\hat{i} + 3\hat{j} - 2\hat{k})\cdot(3\hat{i} - 2\hat{j} + \hat{k})$$
$$= 5\times3 - 3\times2 - 2\times1$$
$$= 15 - 6 - 2$$
$$= 7\ \text{J}$$

এখানে,

$\vec{F} = (5\hat{i} + 3\hat{j} - 2\hat{k})$ N

$\vec{r} = (3\hat{i} - 2\hat{j} + \hat{k})$ m

৩। 5 kg ভরের একটি বস্তু 5m উঁচু থেকে একটি পেরেকের উপর পড়লে পেরেকটি মাটির ভিতরে cm ঢুকে যায়। মাটির গড় প্রতিরোধ বল নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০

আমরা জানি,

পতনশীল বস্তুর স্থিতিশক্তি = প্রতিরোধ বলের বিরুদ্ধে কাজ

প্রতিরোধ বলের বিরুদ্ধে কাজ $= F \times s$

$= F \times 0{\cdot}1$ ... ... (i)

বস্তুটির মোট পতন $= h + s = 5 + 0{\cdot}1$

$= 5{\cdot}1$ m

$\therefore$ বস্তুর স্থিতিশক্তি $= mg\,(h + s)$

$= 5 \times 9{\cdot}8 \times 5{\cdot}1$

প্রশ্নানুসারে,

$$F \times 0{\cdot}1 = 5 \times 9{\cdot}8 \times 5{\cdot}1$$
$$\therefore\ F = \frac{5 \times 9{\cdot}8 \times 5{\cdot}1}{0{\cdot}1}$$
$$= 2499\text{N}$$

উত্তর : গড় প্রতিরোধ বল = 2499N.

এখানে,

বস্তুর ভর, $m = 5$ kg

উচ্চতা, $h = 5$ m

সরণ, $s = 10$ cm $= 0{\cdot}1$ m

প্রতিরোধ বল, $F = ?$

শক্তি
Energy

কোনো বস্তু কাজ করতে সক্ষম হলে ধরে নিতে হবে তার শক্তি আছে। কোনো বস্তু মোট যে পরিমাণ করতে পারে তা দিয়ে বস্তুটির শক্তির পরিমাপ করা হয়। অর্থাৎ কৃত কাজ দিয়ে আমরা শক্তি পরিমাপ করতে কোনো বস্তু নিজে কাজ করলে বস্তুটির শক্তি কমে। যে বস্তুর উপর কাজ করা হয় তার শক্তি বাড়ে। শক্তির ভার, আয়তন নেই। যার কাজ করার সামর্থ্য যত কম তার শক্তিও তত কম। অতএব বলা যায় কাজ শক্তির মাপ

যদি বলা হয় কোনো বস্তু W পরিমাণ কাজ করল, তবে বুঝতে হবে যে, তার ব্যয়িত শক্তির মান W। কোনো বস্তু বলের বিরুদ্ধে কাজ করলে তখন তার শক্তি হারায়। আবার বস্তুর উপর বল ক্রিয়া করলে তা শক্তি লাভ করে।

সংজ্ঞা : কাজ করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। কাজের মতো শক্তিও একটি স্কেলার রাশি।

শক্তির পরিমাণ = কৃত কাজ = প্রযুক্ত বল × বল প্রয়োগে বিন্দুর সরণ।

মোটর ইঞ্জিনে পেট্রোলের বাষ্প, বাষ্পীয় ইঞ্জিনে জলীয় বাষ্পের চাপ পিস্টন দ্বারা সৃষ্টি হয়। সুতরাং বাষ্পের শক্তি আছে। আবার বিদ্যুতেরও শক্তি আছে। এই শক্তিতেই ট্রেন ও কল-কারখানা চলে। শক্তি আছে বলে মহাবিশ্ব চলছে। শক্তি রূপ পরিবর্তন করতে পারে, কিন্তু শক্তি সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না। তাই রূপান্তর প্রক্রিয়ায় মোট শক্তি অপরিবর্তিত থাকে। এ সম্পর্কে শক্তির নিত্যতার সূত্রে আমরা বিস্তারিত জানব। শক্তির বিভিন্ন রূপ আছে যেমন—

(১২-১৬)

(i) যান্ত্রিক শক্তি (Mechanical energy)
(ii) তাপ শক্তি (Heat energy)
(iii) আলোক শক্তি (Light energy)
(iv) শব্দশক্তি (Sound energy)
(v) চৌম্বক শক্তি (Magnetic energy)
(vi) তড়িৎ শক্তি (Electrical energy)
(vii) রাসায়নিক শক্তি (Chemical energy)
(viii) পারমাণবিক শক্তি (Nuclear energy)
(ix) সৌর শক্তি (Solar energy)

শক্তির রূপান্তর
Transformation of Energy

এই মহাবিশ্ব জুড়ে শক্তি বিভিন্ন রূপে বিরাজিত। বিভিন্ন প্রকার শক্তি পরস্পরের সাথে সম্বন্ধযুক্ত। এক শক্তিকে অন্য শক্তিতে রূপান্তর সম্ভব এবং এর নামই **শক্তির রূপান্তর (Transformation of energy)**।

শক্তি রূপান্তরের কয়েকটি উদাহরণ নিম্নে প্রদত্ত হলো।

(১) পানি উচ্চ স্থান হতে নিম্ন স্থানে প্রবাহিত হয়। উচ্চ স্থানে থাকার সময় তার শক্তি স্থিতিশক্তি। নিম্ন স্থানে প্রবাহিত হবার সময় স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই গতিশক্তির সাহায্যে টারবাইন ঘুরিয়ে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করা হয়। অর্থাৎ **যান্ত্রিক শক্তি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(২) বিদ্যুৎ শক্তি যখন বৈদ্যুতিক বাতির মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় তখন আমরা আলো পাই। এক্ষেত্রে **বিদ্যুৎ শক্তি আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(৩) বৈদ্যুতিক ইস্ত্রিতে তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চালনা করে তাপ উৎপন্ন করা হয়। এই তাপের সাহায্যে কাপড়-চোপড় ইস্ত্রি করা হয়। এক্ষেত্রে **বিদ্যুৎ শক্তি তাপ শক্তিতে এবং তাপ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

বৈদ্যুতিক পাখার মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করলে পাখা ঘুরতে থাকে। এ স্থলেও বৈদ্যুতিক শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(৪) একটি কাঁচা লোহার উপর অন্তরীত (insulated) তামার তার জড়িয়ে বিদ্যুৎ চালনা করলে লোহার দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়। এক্ষেত্রে **বিদ্যুৎ শক্তি চুম্বক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(৫) ক্যালসিয়াম, পটাসিয়াম, রুবিডিয়াম প্রভৃতি ধাতুর উপর আলো পড়লে ইলেকট্রন নির্গত হতে দেখা যায়। ফটো-ইলেকট্রিক কোষ এই নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত। এরূপ একটি কোষে আলো ফেলে বিদ্যুৎ প্রবাহ তৈরি করা হয়। এক্ষেত্রে **আলোক শক্তি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(৬) দুই হাতের তালু পরস্পরের সাথে ঘষলে তাপ উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে **যান্ত্রিক শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(৭) ফটোগ্রাফিক ফিল্মের উপর আলোক সম্পাত করে রাসায়নিক ক্রিয়ার মাধ্যমে আলোক চিত্র তৈরি করা হয়। এক্ষেত্রে **আলোক শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(৮) ঔষধের কারখানায় শ্রবণোত্তর বা শব্দোত্তর তরঙ্গের সাহায্যে জীবাণু ধ্বংস করা হয় এবং কর্পূরকে পানিতে দ্রবণীয় করা হয়। এ ছাড়া শব্দোত্তর তরঙ্গ দ্বারা বস্ত্রাদির ময়লাও পরিষ্কার করা হয়। এসব ক্ষেত্রে **শব্দ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।** (১১-১২, ০৪-০৫)

(৯) আমরা জানি বৈদ্যুতিক ঘণ্টা বিদ্যুতের সাহায্যে চলে। টেলিফোনও বিদ্যুতের সাহায্যে চলে। দুই ক্ষেত্রেই আমরা শব্দ শুনতে পাই। এস্থলে **বিদ্যুৎ শক্তি শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(১০) কয়লা পোড়ালে তাপ উৎপন্ন হয়। রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে এটি ঘটে। এক্ষেত্রে **রাসায়নিক শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

(১১) বিদ্যুৎ কোষে রাসায়নিক দ্রব্যের বিক্রিয়ার ফলে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে **রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ বা বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।**

শক্তি যখন একরূপ হতে অন্যরূপে পরিবর্তিত হয় তখন এর কোনো ঘাটতি বা বাড়তি ঘটে না। অর্থাৎ শক্তির বিনাশ ও সৃষ্টি উভয়ই অসম্ভব। যখন এক প্রকার শক্তি বিলুপ্ত হয় তখন তা অন্যরূপে আত্মপ্রকাশ করে। **এর নাম শক্তির নিত্যতা বা শক্তির অবিনশ্বরতা** (Conservation of Energy)। **এ সম্পর্কে একটি সূত্র বা বিধি আছে। এর নাম শক্তির নিত্যতা সূত্র বা শক্তির নিত্যতা বিধি। একে শক্তির সংরক্ষণ সূত্রও বলা হয়।**

মডেল তৈরি : মাথায় দেওয়া একটি ক্যাপের উপর সামনের দিকে একটি আয়তাকার সোলার প্যানেল বসাও। সোলার প্যানেলের সাথে সংযোগকারী তার ও ইলেকট্রনিক সংযোগের মাধ্যমে মোবাইল ফোন এবং চার্জিং করার পয়েন্ট প্রবেশ করাও। ক্যাপ মাথায় দিয়ে চলাফেরা করলে সৌরশক্তির মাধ্যমে মোবাইল ফোন চার্জিত হবে [চিত্র ৫.৪]। এক্ষেত্রে সৌরশক্তি বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত হচ্ছে।

চিত্র ৫.৪

শক্তির একক (Unit of energy) :

যেহেতু কৃত কাজ দিয়েই শক্তির পরিমাপ করা হয় সুতরাং কাজ ও শক্তির একক একই। অর্থাৎ এস. আই (SI) পদ্ধতিতে শক্তির একক জুল (J)।

শক্তির মাত্রা (Dimension of energy) :

শক্তি ও কাজের মাত্রা একই, $[E] = [ML^2T^{-2}]$

বস্তু গতিশীল হলে সেটি গতিশক্তি অর্জন করে। যেমন m ভরের বস্তু v বেগে গতিশীল হলে $\frac{1}{2}mv^2$ পরিমাণ গতিশক্তি অর্জন করে। শক্তির সবচেয়ে সাধারণ রূপ হচ্ছে যান্ত্রিক শক্তি। কোনো বস্তুর অবস্থান বা গতির কারণে তার মধ্যে যে শক্তি থাকে তাকে যান্ত্রিক শক্তি বলে। যান্ত্রিক শক্তি দুই প্রকার : (i) গতিশক্তি (Kinetic energy) ও (ii) স্থিতিশক্তি (Potential energy)। এই অধ্যায়ে এ বিষয়ে আলোচনা করব।

নিজে কর : তোমার পড়ার টেবিলে একটি বইকে একটি কলমের দিকে জোরে ঠেলা দাও। কী দেখতে পাবে? কলমটি গতিশীল হলো কেন ? ব্যাখ্যা কর।

এক্ষেত্রে কলমটির মধ্যে কাজ করার সামর্থ্য তথা গতিশক্তি জন্মাল। তাই কলমটি সামনের দিকে সরে গেল।

৫.২ বল, সরণ এবং কাজ
Force, Displacement and Work

মনে কর একটি মার্বেল-এর ভর m এবং এটি v_0 আদি বেগে গতিশীল। এই মার্বেলের উপর বল প্রয়োগ করা হলো ফলে বেগ পরিবর্তিত হয়ে v হলো। তাহলে বল প্রয়োগের আগে গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv_0^2$ এবং বল প্রয়োগের পর গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$। এক্ষেত্রে কৃত কাজ হবে গতিশক্তিদ্বয়ের পার্থক্যের সমান।

$\therefore$ কাজ = গতিশক্তির পরিবর্তন

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.4)$$

গতির সমীকরণ থেকে আমরা জানি

$$\boxed{v^2 = v_0^2 + 2as} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.5)$$

এখানে a = ত্বরণ, s = সরণ। এখন (5.5) নং সমীকরণে $\frac{1}{2}m$ দ্বারা উভয় পাশে গুণ করে পাই

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}m(2as)$$

বা, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mas \quad \ldots$

বা, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + Fs \quad \ldots$

(

বা, $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = Fs$

সমীকরণ (5.4) এবং সমীকরণ (5.8) থেকে পা

$W = Fs$

যদি সরণ অভিমুখে প্রযুক্ত বল বিবেচনা না ক

সরণের উপাংশ বিবেচনা করা হয় তাহলে চিত্র ৫.৫ অনু

$W = Fs \cos\theta$

ভেক্টর আকারে প্রকাশ করলে

$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \quad \ldots$

সুতরাং বলা যায় বল ও সরণের স্কেলার গুণন হ

অর্থাৎ সরণ ও সরণ অভিমুখে বলের উপাংশের গু

কাজ।

কাজের সাধারণ সংজ্ঞা থেকে দেখা যায় বল ক্রিয়

কৃত কাজ $W = 0$ হয়। আবার যদি বলের প্রয়োগ বিন্দু

তবে $W = Fs \cos 90° = 0$ হয়।

বলকে দুইভাবে ভাগ করা যায় যথা:

- সংরক্ষণশীল বল: তড়িৎ বল, চৌম্বক বল, অভিকর্ষীয় বল, স্প্রিং এর বল ইত্যাদি। সংরক্ষণশীল বল দ্বারা কৃতকাজ পুনরুদ্ধার সম্ভব।
- অসংরক্ষণশীল বল: ঘর্ষণ বল, সান্দ্র বল। অসংরক্ষণশীল বল দ্বারা কৃতকাজ পুনরুদ্ধার করা সম্ভব নয়।

◆ স্থিতিস্থাপক বল: স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বাইরে থেকে বল প্রয়োগে কোন বস্তুর আকার আকৃতি পরিবর্তন ঘটানোর পর বল অপসারণ করলে যে বলের কারণে তা আবার পূর্বের আকার আকৃতি ফিরে পায় তাকে স্থিতিস্থাপক বল বলে।

◆ স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কাজ সরণের বর্গের সমানুপাতিক। অপরদিকে অভিকর্ষ বল দ্বারা কাজ উচ্চতার বা সরণের সমানুপাতিক। অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বৃদ্ধি পেলে এই বল দ্বারা কাজও বৃদ্ধি পায়।

◆ সময় বা অবস্থানের সাপেক্ষে বলের মান বা দিক কোনটির পরিবর্তন না হলে তাকে স্থির বল বলে। যেসকল বলের মান ও দিক সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয় তাকে পরিবর্তনশীল বল বলে।

◆ বৃত্তপথে আবর্তনরত বস্তু শূন্য কাজের উদাহরণ।

◆ $0 < \theta < 90^0$ হলে বলের দ্বারা কৃতকাজ ধনাত্মক এবং $90^0 < \theta < 180$ হলে বলের বিরুদ্ধে কাজ বোঝায় এবং এটি ঋণাত্মক কাজ।

অর্থাৎ কোনো সচল বস্তুর সরণের লম্ব দিকে এক বা একাধিক বল বস্তুটির উপর ক্রিয়া করতে পারে। এই বলগুলির অভিমুখ সরণের অভিমুখের সাথে 90° কোণে থাকলে বস্তুর সরণের সময় এই বলগুলি কোনো কাজ করে না। এ ধরনের বলকে **কাজহীন বল** বলে।

৫.৩ স্থির বল এবং পরিবর্তনশীল বল কর্তৃক কৃত কাজ
Work done by Constant Force and Variable Force

বল সাধারণত দুই প্রকার; যথা— স্থির বল ও পরিবর্তনশীল বল। এখন আমরা স্থির বল ও পরিবর্তনশীল বল দ্বারা কৃত কাজ আলোচনা করব।

স্থির বল কর্তৃক কৃত কাজ
Work done by a Constant Force

অভিকর্ষীয় বলের প্রভাবে কোনো বস্তুকে অল্প উচ্চতায় উপরে উঠানো বা নিচে নামানো যায়। উচ্চতার মান কম হওয়ায় এক্ষেত্রে অভিকর্ষীয় বল স্থির (বা ধ্রুব) বল। ($\because F = mg$, g স্থির মানের হওয়ায় F ধ্রুব) অর্থাৎ সময়ের প্রেক্ষিতে বলের মান ও দিক পরিবর্তন না হলে তাকে স্থির (বা ধ্রুব) বল বলে।

মনে করি A বিন্দুতে অবস্থিত কোনো একটি বস্তুর উপর AB বরাবর F বল প্রযুক্ত হওয়ায় বস্তুটি A বিন্দু হতে B বিন্দুতে যেতে s দূরত্ব অতিক্রম করল [চিত্র ৫.৬ (ক)]। তা হলে,

কৃত কাজ = বলের মান × বলের ক্রিয়া রেখা বরাবর সরণের মান

বা, $W = F \times s \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.11)$

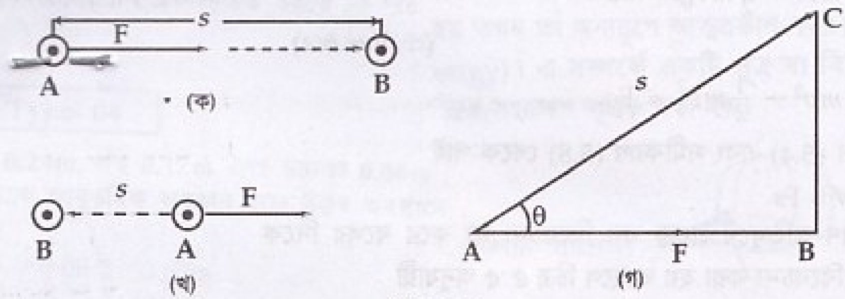
যদি বল প্রয়োগের ফলে বস্তুর তথা বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ, বলের বিপরীত দিকে AB = s [চিত্র ৫.৬(খ)] তবে,

কৃত কাজ = বলের মান × বলের ক্রিয়া রেখা বরাবর সরণের মান

$W = F \times (-s) = -F \times s$ ... ... (5.12

ঋণ চিহ্ন বল ও সরণ বিপরীতমুখী বুঝাতে ব্যবহৃত হয়েছে।

এবার মনে করি একটি বস্তুর উপর F পরিমাণ বল AB অভিমুখে প্রযুক্ত হওয়ায় বস্তুটি বলের অভিমু সাথে θ কোণ উৎপন্ন করে s পরিমাণ দূরত্ব সরে C বিন্দুতে পৌছল [চিত্র ৫.৬(গ)]। তা হলে বলের ক্রিয়া বরাবর বস্তুর সরণ = $AB = s \cos\theta$।



চিত্র ৫.৬

এখানে $BC \perp AB$

∴ কৃত কাজ, W = বলের মান × বলের ক্রিয়া রেখা বরাবর সরণের মান

বা, $W = Fs \cos\theta$ ... ... (5.13

= বলের মান × বলের দিকে সরণের উপাংশের মান।

= সরণের মান × সরণের দিকে বলের উপাংশের মান।

ভেক্টর বীজগণিতের সাহায্যে কাজকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :

কাজকে বল ও সরণ এই দুটি ভেক্টর রাশির স্কেলার গুণফল দ্বারা পরিমাপ করা হয়। মনে করি বল একটি ভেক্টর বা দিক রাশি এবং সরণ $\vec{s}$ একটি ভেক্টর বা দিক রাশি।

অতএব কাজ = বল . সরণ

বা $W = \vec{F} . \vec{s}$

$= Fs \cos\theta$, [$s \cos\theta$ হলো বল F-এর দিকে সরণের উপাংশ বা অংশক] ... (5.14

এখানে $\theta = \vec{F}$ এবং $\vec{s}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ।

(ক) $\theta = 0°$ হলে, অর্থাৎ বলের দিকে যখন বস্তুর সরণ হয়, তখন

$W = \vec{F} . \vec{s} = Fs \cos\theta = Fs \cos 0°$

$= Fs$ $[\because \cos 0° = 1]$

এখানে কাজ ধনাত্মক (positive)। এক কথায় θ সূক্ষ্মকোণ হলে কাজ ধনাত্মক। **কাজ ধনাত্মক হ বলের দ্বারা কাজ বুঝায়।**

(খ) $\theta = 90°$ হলে

$W = F. s \cos\theta = F.s \cos 90° = 0$ $[\because \cos 90° = 0]$

অর্থাৎ $\theta = 90°$ হলে বল দ্বারা কাজের পরিমাণ শূন্য হবে।

(গ) $\theta = 180°$ হলে কাজ ঋণাত্মক (negative) হবে

অর্থাৎ $W = \vec{F}. \vec{s} = Fs \cos 180° = -Fs$ $[\because \cos 180° = -1]$

কাজ ঋণাত্মক হলে বলের বিরুদ্ধে কাজ বুঝায়।

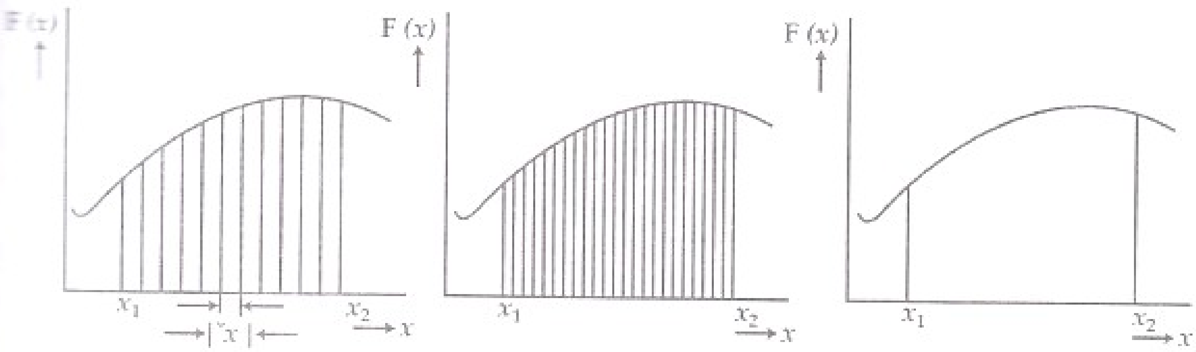
পরিবর্তনশীল বল দ্বারা কৃত কাজ
Work done by a Variable force

সংজ্ঞা : যে বলের মানের ও দিকের অথবা যে কোনো একটির পরিবর্তন হয় তা-ই পরিবর্তনশীল বল। যেমন একটি স্প্রিংকে টেনে লম্বা করলে বা সংকুচিত করলে যে কাজ হবে তা পরিবর্তনশীল বল দ্বারা কাজ বুঝায়। অবার মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে কোনো বস্তুর স্থান পরিবর্তনও পরিবর্তনশীল বল দ্বারা কাজ বুঝায়।

স্বল্প উচ্চতায় বলের পরিবর্তন খুবই নগণ্য। কিন্তু পৃথিবী পৃষ্ঠের বেশ উপরের দিকে কিংবা নিচের দিকে অভিকর্ষীয় বলের মান কমতে থাকে। সেক্ষেত্রে বল স্থির (বা ধ্রুব) ধরা যায় না। বল একটি ভেক্টর রাশি; সুতরাং এর দিক ও মান উভয়ই আছে। প্রথমে বলের মান পরিবর্তনশীল বিবেচনা করে আমরা নিম্নে কৃত কাজের সমীকরণ বের করব।

(ক) বলের মান যখন পরিবর্তনশীল : ধরি কোনো একটি পরিবর্তনশীল বল $\vec{F}$ বস্তুর উপর x-অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করায় বস্তুটি x-অক্ষ বরাবর x_1 অবস্থান থেকে x_2 অবস্থানে সরে গেল এবং বলটি মানের সাপেক্ষে পরিবর্তী। এই পরিবর্তী বল দ্বারা বস্তুটির সরণ $(x_2 - x_1)$ ঘটাতে সম্পাদিত কাজ নিম্নোক্ত উপায়ে বের করতে পারি।

এখন মোট সরণ $(x_2 - x_1)$ কে বহুসংখ্যক অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সমমানের সরণ Δx-এ বিভক্ত করা হলো [চিত্র ৫·৭ (ক)]। ফলে প্রতিটি ক্ষুদ্র সরণের শুরুতে বস্তুর উপর যে বল ক্রিয়া করে ঐ বলের ক্রিয়াতেই ঐ সরণ



চিত্র ৫·৭

সংঘটিত হয়েছে বিবেচনা করা যায়। প্রতিটি ক্ষুদ্র অংশে ক্রিয়ারত বল ভিন্ন ভিন্ন মানের। সুতরাং x_1 অবস্থান থেকে $x_1 + \Delta x$ পর্যন্ত ক্ষুদ্র সরণের ক্ষেত্রে F_1 বল ক্রিয়াশীল হলে কাজ,

$$\Delta W_1 = F_1 \Delta x$$

অনুরূপভাবে $x_1 + \Delta x$ থেকে $x_1 + 2\Delta x$ পর্যন্ত সরণ Δx-এর ক্ষেত্রে F_2 বল ক্রিয়াশীল হলে কাজ,

$$\Delta W_2 = F_2 \Delta x$$

মোট সরণ $(x_2 - x_1)$ কে যদি এরূপ N সমসংখ্যক ক্ষুদ্র সরণ Δx-এ বিভক্ত করা হয় তবে মোট কাজ হবে এই ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশের সরণের জন্য কাজের সমষ্টির সমান।

$$\therefore \text{কৃত কাজ, } W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \ldots\ldots + \Delta W_N$$
$$= F_1\Delta x + F_2\Delta x + F_3\Delta x + \ldots\ldots + F_N\Delta x$$
$$= \sum_{k=1}^{N} F_k \Delta x$$

লক্ষণীয় যে প্রতিটি ক্ষুদ্র অংশ Δx-এ বলের মান ধ্রুব ধরা হয়েছে। কিন্তু এটা সম্পূর্ণ সঠিক নয়। ঐ প্রতিটি ক্ষুদ্র অংশকে যদি আরও ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে ভাগ করি [চিত্র ৫·৭ (খ)] এবং নব ক্ষুদ্র অংশের জন্য বল স্থির (বা ধ্রুব) ধরি, তবে কৃত কাজের মান আরও সঠিক হবে। এভাবে ক্ষুদ্র অংশ আরও ক্ষুদ্র অর্থাৎ Δx যদি প্রায় শূন্যের কাছাকাছি

হয় এবং বিভক্ত অংশের সংখ্যা N-কে অসীম করা হয় তবে সঠিক মান পাওয়া যাবে। অতএব, কাজের সঠিক মান লেখা যায়

$$W = \underset{\Delta x \to 0}{\text{Lt}} \sum_{k=1}^{N} F_k \Delta x$$

ক্যালকুলাসের ভাষায়,

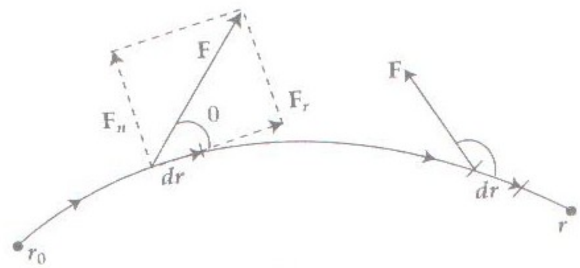
$$\underset{\Delta x \to 0}{\text{Lt}} \sum_{k=1}^{N} F_k \Delta x = \int_{x_1}^{x_2} F(x)\, dx$$

$$\therefore \quad W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)\, dx \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.15)$$

$= x_1$ ও x_2 সীমার মধ্যে আবদ্ধ লেখচিত্রের ক্ষেত্রফল [চিত্র ৫·৫ (গ)]

বল ও সরণের মধ্যবর্তী কোণ θ হলে [চিত্র ৫·৮]

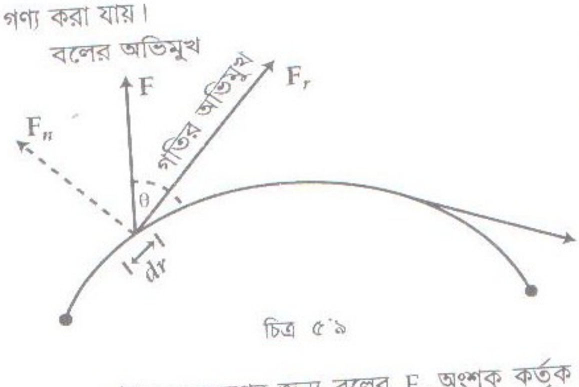
$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_{x_1}^{x_2} F\cos\theta\, dx,$$ $F\cos\theta$ হচ্ছে X-অক্ষ বরাবর বল $\vec{F}$-এর উপাংশ। … (5.16)



চিত্র ৫·৮

(খ) বলের মান ও দিক উভয়ই যখন পরিবর্তনশীল : বল মানে ও অভিমুখে পরিবর্তনশীল হলে ঐ বলের ক্রিয়ায় বস্তু একটি রেখায় গতিশীল হতে পারে। বস্তুটির গতি দ্বিমাত্রিক বা ত্রিমাত্রিক। এ ক্ষেত্রে রেখাটির কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক দ্বারা ঐ বিন্দুতে বস্তুর গতি অভিমুখ নির্দিষ্ট হবে। এক্ষেত্রে সরণ $= \vec{r}$।

কাজেই এই প্রকার বলের কৃত কাজ নির্ণয়ে সমগ্র গতিপথকে অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সরণ $d\vec{r}$-এর সমষ্টি হিসেবে গণ্য করা যায়।



চিত্র ৫·৯

প্রত্যেক ক্ষুদ্র সরণের শুরুতে বস্তুর উপর যে বল F ক্রিয়ারত থাকে ঐ বল উক্ত সরণের জন্য অপরিবর্তী বিবেচনা করা যায়। ধরি কোনো একটি ক্ষুদ্র সরণ $d\vec{r}$ এবং ঐ সরণের জন্য ক্রিয়ারত বল $\vec{F}$-এর মধ্যবর্তী কোণ θ [চিত্র ৫·৯]। বলটিকে $d\vec{r}$-বরাবর একটি অংশে এবং তার লম্ব দিকে অপর একটি অংশে বিভক্ত করি। যদি অংশক দুটি যথাক্রমে

$F_r = F\cos\theta$ এবং $F_n = F\sin\theta$

এই ক্ষুদ্র সরণের জন্য বলের F_n অংশক কর্তৃক কৃত কাজ শূন্য, কেননা এই ক্ষুদ্র সরণ ও F_n-এর মধ্যবর্তী কোণ 90°। তা হলে ঐ ক্ষুদ্র সরণের জন্য কাজ

$$dW = F\,dr\cos\theta = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

কাজেই গতিপথের r_0 অবস্থান হতে r অবস্থানে স্থানান্তরের ক্ষেত্রে কাজ,

$$W = \int_{r_0}^{r} (F\cos\theta)\, dr = \int_{r_0}^{r} \vec{F} \cdot d\vec{r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.17)$$

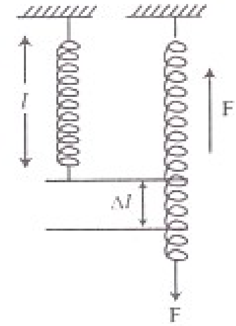
৫.৪ স্থিতিস্থাপক বল ও অভিকর্ষীয় বল এবং সম্পাদিত কাজ
Elastic Force and Gravitational Force and Work done

স্থিতিস্থাপক বল
Elastic Force

একটি স্প্রিংকে টেনে প্রসারিত করলে মনে হয় যে, স্প্রিং আমাদের হাতকে বিপরীত দিকে টানছে। নিউটনের তৃতীয় সূত্র থেকে এরূপ প্রতিক্রিয়া বলের উদ্ভব ব্যাখ্যা করা যায়। স্পষ্টত বিকৃত করার চেষ্টাকে স্প্রিংটি বাধা দেয়; স্প্রিংটিকে ছেড়ে দিলে সেটি সঙ্গে সঙ্গে এর প্রাথমিক দৈর্ঘ্য ফিরে পায়। এক্ষেত্রে যে বলের ক্রিয়ায় বস্তু পূর্বের আকার আয়তন ফিরে পেল সেই বলই হলো স্থিতিস্থাপক বল।

সংজ্ঞা : **স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বাইরে থেকে বল প্রয়োগে কোনো বস্তুর আকার-আকৃতির পরিবর্তন ঘটানোর পর বল অপসারণ করলে যে বলের কারণে তা আবার পূর্বের আকার-আকৃতি ফিরে পায় তাকে স্থিতিস্থাপক বল বলে।**

উদাহরণ : মনে করি, একটি স্প্রিং-এর এক প্রান্ত কোনো দৃঢ় অবলম্বনে আটকিয়ে অপর প্রান্তে F টানা বল প্রয়োগ করা হলো [চিত্র ৫.১০]। এই বল স্প্রিং-এর মাধ্যমে অবলম্বনের উপরও ক্রিয়া করবে। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুযায়ী অবলম্বনটি স্প্রিং-এর উপর সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া বল F প্রয়োগ করবে। স্প্রিং-এর উপর ক্রিয়ারত বল দুটি পরস্পরকে প্রশমিত করে। ফলে সমগ্র স্প্রিং-এর কোনো সরণ হয় না, কিন্তু ওর দৈর্ঘ্য বাড়ে অর্থাৎ স্প্রিং-এর বিভিন্ন অংশের মধ্যে আপেক্ষিক সরণ ঘটে। সাধারণত বস্তুর এরূপ বিকৃতি বাইরে থেকে ক্রিয়ারত বলের দ্বারা হয়েছে ধরা হয়; স্থিতিস্থাপক বলের কারণে স্প্রিংটি পূর্বের আকার ফিরে পায়।

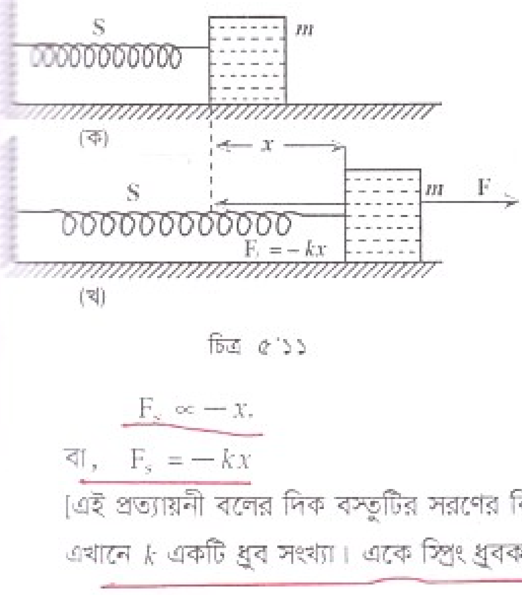


চিত্র ৫.১০

পরিবর্তনশীল বল কর্তৃক কাজের উদাহরণ
Examples of work done by variable force

(ক) স্প্রিং প্রসারণে সম্পাদিত কাজ (বল $\propto x$)

মনে করি একটি অনুভূমিক আদর্শ স্প্রিং-এর এক প্রান্ত দেয়ালের সাথে আটকিয়ে অপর প্রান্তে m ভরের একটি বস্তু যুক্ত রয়েছে। বস্তুটি অনুভূমিক এবং ঘর্ষণবিহীন তলের উপর দিয়ে চলাচল করতে পারে।



চিত্র ৫.১১

বস্তুটিকে টেনে স্প্রিং S-কে দৈর্ঘ্য বরাবর বিকৃত করলে স্থিতিস্থাপক ধর্মের দরুন প্রযুক্ত বলের বিপরীত স্প্রিং-এ প্রত্যায়নকারী বলের উদ্ভব হবে। স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম না করলে, প্রত্যায়নী বলের মান হুকের সূত্রানুযায়ী দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের সমানুপাতিক হবে।

মনে করি F_s অনুভূমিক বল প্রয়োগে বস্তুটিকে বাম হতে ডান দিকে সরানোর ফলে স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য অনুভূমিক বরাবর x পরিমাণ বৃদ্ধি পেল। এই ক্রিয়ার দরুন স্প্রিং-এ $-kx$ পরিমাণ প্রত্যায়নী বল উৎপন্ন হবে। কেননা

$$F_s \propto -x,$$

বা, $F_s = -kx$

[এই প্রত্যায়নী বলের দিক বস্তুটির সরণের বিপরীত দিকে হওয়ায় ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহৃত হয়েছে।]

এখানে k একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে স্প্রিং ধ্রুবক (spring constant) বলা হয়।

স্প্রিংটিকে প্রসারিত করতে হলে সমমানের বাহ্যিক বল প্রয়োগ করতে হবে। মনে করি প্রযুক্ত বল F।

$\therefore \quad F = -F_s = -(-kx) = kx \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.18)$

স্প্রিংটিকে x_1 অবস্থান হতে x_2 অবস্থানে প্রসারিত করতে প্রযুক্ত বল কর্তৃক সম্পাদিত কাজের পরিমাণ

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \vec{F}(x)\, d\vec{x} = \int_{x_1}^{x_2} F(x)\, dx$$

[$\because$ $\vec{F}$ ও $d\vec{x}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ শূন্য]

$$= \int_{x_1}^{x_2} kx dx = k\int_{x_1}^{x_2} x dx = \frac{1}{2} k \left[x^2\right]_{x_1}^{x_2} = \frac{1}{2} k \left[x_2^2 - x_1^2\right]$$

$$\boxed{W = \frac{1}{2} k x_2^2 - \frac{1}{2} k x_1^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.19)$$

এই কাজ ধনাত্মক। সাধিত কাজ স্প্রিং-এর মধ্যে স্থিতিশক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে।

স্প্রিং-এর আদি অবস্থান $x_1 = 0$ এবং শেষ অবস্থান $x_2 = x$ ধরলে,

$$\boxed{W = \frac{1}{2} k x^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.20)$$

অর্থাৎ, সরণের পরিমাণ x হলে সঞ্চিত স্থিতিশক্তির পরিমাণ হবে $\frac{1}{2} kx^2$।

[পুনঃ, স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য x পরিমাণ সংকুচিত হলেও সঞ্চিত স্থিতি শক্তির পরিমাণ $W = \frac{1}{2} kx^2$ হবে] ।

(খ) স্প্রিং সংকোচনে কাজ :

এক্ষেত্রে $x_1 = 0$ এবং $x_2 = x$ ধরলে স্প্রিং সংকোচনে কাজ $W = \frac{1}{2} kx^2$ হয় অর্থাৎ স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য x পরিমাণ সংকুচিত করলে সঞ্চিত স্থিতিশক্তির পরিমাণ বা কাজ $= \frac{1}{2} kx^2$.

(গ) বাহ্যিক বল প্রয়োগে বিকৃত বস্তুর উপর কাজ :

এখন আমরা একটি তার বা দণ্ডকে প্রসারিত করতে অর্থাৎ অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির ক্ষেত্রে কাজ সম্পর্কে আলোচনা করব। একটি তারের দৈর্ঘ্য বরাবর বাহ্যিক প্রসারাঙ্ক বল ক্রিয়া করলে তারটিতে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন প্রযুক্ত হয়, ফলে সেটি দৈর্ঘ্যে বাড়ে। অতএব প্রযুক্ত বলের প্রয়োগ বিন্দুর কিছুটা সরণ হয় অর্থাৎ কাজ করা হয়। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কাজ বিকৃত বস্তুটিতে স্থিতিস্থাপক শক্তিরূপে বা স্থিতিস্থাপক রূপে সঞ্চিত হয়। কোনো বস্তুকে ধীরে ধীরে প্রসারিত করলে প্রযুক্ত বল F কর্তৃক কৃত কাজ অথবা স্থিতিস্থাপক বল F_e কর্তৃক ধনাত্মক কাজ দিয়ে বস্তুর স্থিতিস্থাপক শক্তির পরিবর্তন পরিমাপ করা যায়। নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী F_C প্রযুক্ত বল F-এর সমান ও বিপরীত।

মনে করি, সুষম প্রস্থচ্ছেদের একটি তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য L এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A। প্রসারক বল F এর ক্রিয়ায় তারটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হলো l। অতএব

অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= \frac{l}{L}$, অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= \frac{F}{A}$

$\therefore$ ইয়ং-এর গুণাঙ্ক, $Y = \frac{F/A}{l/L} = \frac{FL}{Al}$

অতএব, $F = \frac{YAl}{L}$

$\therefore \quad F_e = \frac{YAl}{L}$

নির্দিষ্ট তারের ক্ষেত্রে YA এবং L ধ্রুবক। সুতরাং $F_e \propto l$, অর্থাৎ স্থিতিস্থাপক বল দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সমানুপাতিক। দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি যখন শূন্য থেকে বেড়ে l হয়, F_e তখন শূন্য থেকে রৈখিকভাবে বেড়ে, $\frac{YAl}{L}$ হয়।

অতএব তারটির l পরিমাণ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সময় স্থিতিস্থাপক বলের গড় মান, $\frac{YAl}{2L}$। সুতরাং প্রয়োগ বিন্দুর l পরিমাণ সরণের জন্য এই বল দ্বারা কাজ $= -\frac{YAl}{2L} \times l$.

অতএব প্রসারিত তারের স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কাজ বা

$$\text{স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি} = -\left(-\frac{YAl^2}{2L}\right) = \frac{YAl^2}{2L}$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{YAl}{L}\right) \times l = \frac{1}{2} F \times l$$

$$= \frac{1}{2}\ \text{প্রযুক্ত বল} \times \text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}$$

$$\therefore \boxed{\text{স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কাজ} = \frac{1}{2} \times \text{স্থিতিস্থাপক বল} \times \text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}} \quad \ldots \quad \ldots \quad [5.21]$$

অভিকর্ষ বল
Force due to gravity

এই বিশ্বের যে কোনো দুটি বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। সাধারণত যে কোনো দুটি বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ বলকে মহাকর্ষ বলে। কিন্তু **ভূ-পৃষ্ঠের উপরে বা নিকটে অবস্থিত প্রতিটি বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে অভিকর্ষ বল (force due to gravity) বলে।** অতএব অভিকর্ষ মহাকর্ষেরই একটি বিশেষ ক্ষেত্র, অভিকর্ষ বলতে পৃথিবীর মহাকর্ষ বোঝায়।

কোনো বস্তুকে অবাধে পড়তে দিলে অভিকর্ষের ক্রিয়ায় বস্তুটি খাড়াভাবে নিচের দিকে পড়তে থাকে। বস্তুটিও পৃথিবীকে সমান ও বিপরীতমুখী বলে আকর্ষণ করে। যে কোনো পার্থিব বস্তুর তুলনায় পৃথিবীর ভর বহুগুণ বেশি বলে এই বলের ক্রিয়ায় গতি উপেক্ষা করা যায়। তাই বস্তুটি পৃথিবীর দিকে পড়ে, পৃথিবী বস্তুর দিকে এগিয়ে যায় না।

পৃথিবীকে R ব্যাসার্ধের একটি সমসত্ত্ব গোলক কল্পনা করলে পৃথিবীর সমস্ত ভর এর কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত আছে বলে ধরতে পারি। সুতরাং ভূ-পৃষ্ঠে অবস্থিত m ভরের কোনো বস্তুকে পৃথিবী নিজ কেন্দ্রের দিকে F বলে আকর্ষণ করলে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র অনুযায়ী

$$\boxed{F = \frac{GMm}{R^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.22)$$

পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী এই বলই হলো অভিকর্ষ বল। অতএব অভিকর্ষের ক্রিয়ায় পতনশীল বস্তু প্রকৃতপক্ষে পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে এগোয়। এজন্য রাজমিস্ত্রির দেওয়াল সোজা করার কাজে ঝুলন্ত ওলন দড়ি পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী বলে সবসময় উল্লম্ব রেখায় থাকে। কোনো বস্তুকে কপিকলের সাহায্যে নিচে নামানো, ক্রেন দিয়ে উপরে উঠানো এবং শিশু পার্কে বাচ্চাদের মসৃণ তল থেকে পিছলে নিচে পড়া সবই অভিকর্ষ বল দ্বারা কৃত কাজ।

অভিকর্ষীয় বল কর্তৃক কাজের উদাহরণ
Examples of work done by Gravitational Force

(ক) বস্তু নিচে পতনের ক্ষেত্রে কাজ :

মনে করি 'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুকে অভিকর্ষ বলের প্রভাবে 'h' উচ্চতা হতে ফেলা হলো।

$\therefore$ কৃত কাজ $=$ বল $\times$ সরণ

বা, $W = F \times h = mgh$ $\quad [\because F = mg]$ $\quad \ldots \quad \ldots \quad (5.23)$

বা, $W =$ ভর $\times$ অভিকর্ষীয় ত্বরণ $\times$ উচ্চতা

কাজকে অভিকর্ষীয় এককে প্রকাশ করলে, $W = mgh$.

(খ) বস্তু উপরে উঠানোর ক্ষেত্রে কাজ :

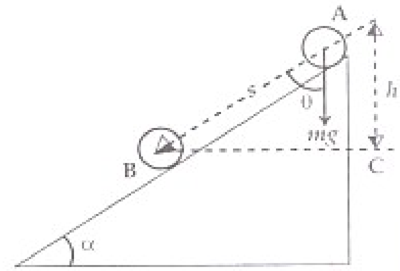
'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুকে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে 'h' উচ্চতা উপরে উঠালে

কাজ = ভর × অভিকর্ষীয় ত্বরণ × উচ্চতা বা, $W = mgh$ ... ... (5.24)

অবশ্য এ কাজ ঋণাত্মক।

(গ) আনত তল বেয়ে নামানোর ক্ষেত্রে কাজ :

মনে করি 'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু কোনো একটি মসৃণ নততল বেয়ে A হতে B-তে সরে এল। যদি g অভিকর্ষীয় ত্বরণ হয়, তবে অভিকর্ষ বল mg বস্তুটিকে খাড়াভাবে নিচের দিকে টানবে [চিত্র ৫.১২]।



চিত্র ৫.১২

ধরি সরণের অভিমুখ এবং অভিকর্ষ বলের অভিমুখের মধ্যে θ কোণ আছে এবং $AB = s$

$\therefore$ অভিকর্ষ বল mg-এর দিকে সরণের অংশ $= s\cos\theta$

এখন $AC = h$ দূরত্ব

$\therefore \; h = s\cos\theta$

$\therefore$ কাজ, $W = mgs\cos\theta$ বা, $W = mgh$ ... ... (5.25)

তলটি অনুভূমিকের সাথে α কোণে অবস্থান করলে, $\theta = (90° - \alpha)$

$\therefore \; W = mgs\cos(90° - \alpha) = mgs\sin\alpha$

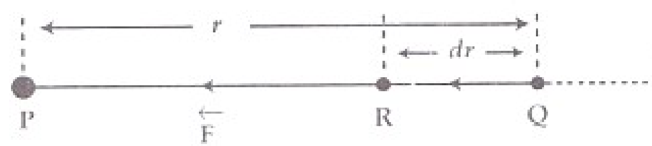
স্থিতিস্থাপক বল এবং অভিকর্ষ বল দ্বারা কাজ থেকে দেখা যায় যে,

স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কাজ, $W = = \frac{1}{2}kx^2$ $\therefore$ কাজ, $W \propto$ (সরণ)^2

অন্য দিকে অভিকর্ষ বল দ্বারা কাজ, $W = mgh$ $\therefore$ কাজ, $W \propto$ সরণ

সুতরাং বলা যায়, **স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কাজ সরণের বর্গের সমানুপাতিক। অপর দিকে অভিকর্ষ বল দ্বারা কাজ উচ্চতার বা সরণের সমানুপাতিক। অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বৃদ্ধি পেলে এই বল দ্বারা কাজও বৃদ্ধি পায়।**

(ঘ) মনে করি M ভরের একটি বস্তু মহাকর্ষ ক্ষেত্রের P বিন্দুতে অবস্থিত। P থেকে r দূরে m ভরের অন্য একটি বস্তু Q বিন্দুতে অবস্থিত [চিত্র ৫.১২(ক)]। এক্ষেত্রে m ভরের বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল মহাকর্ষ বল $F = \frac{GMm}{r^2}$ দিক QP বরাবর।



চিত্র ৫.১২(ক)

এখন m ভরের বস্তুকে অসীম হতে ক্ষুদ্র দূরত্ব dr সরিয়ে R বিন্দুতে আনতে কৃত কাজ

$$W = \int_{\infty}^{r} F dr \cos 0°$$

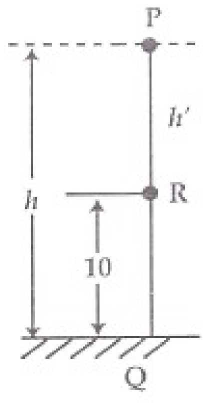
$$= \int_{\infty}^{r} F dr = \int_{\infty}^{r} \frac{GMm}{r^2} dr$$

$$= GMm \int_{\infty}^{r} r^{-2} dr = -GMm \left[\frac{1}{r}\right]_{\infty}^{r}$$

$$= -GMm\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right) = -GMm$$

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি বস্তুকে নির্দিষ্ট উচ্চতা থেকে ফেলে দেয়া হলো। ভূমি হতে 10m উচ্চতায় গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হলে কত উচ্চতা থেকে বস্তুটি ফেলা হয়েছিল ?



চিত্র ৫.১৩

মনে করি, P বিন্দু হতে m ভরের বস্তুটিকে ফেলা হলো এবং R বিন্দুতে বস্তুটির গতিশক্তি $= 2 \times$ বিভব শক্তি

R বিন্দুতে বিভব শক্তি, $E_p = mgx$

$= mg \times 10 = 10\, mg$ ... ... (1)

ধরা যাক, R বিন্দুতে বস্তুটির বেগ $= v$

আমরা জানি, $v^2 = v_0^2 + 2gh'$

বা, $v^2 = 2g(h - x)$ $[\because v_0 = 0]$

$= 2g(h - 10)$

R বিন্দুতে গতিশক্তি, $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2}\, m \times 2g(h - 10)$

$= mg(h - 10)$

প্রশ্নানুসারে, $mg(h - 10) = 2 \times 10\, mg = 20\, mg$ ... ... (2)

$\therefore \quad h - 10 = 20$

বা, $h = 20 + 10 = 30$ m

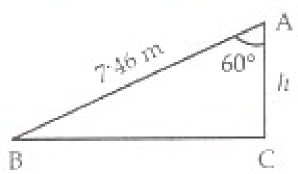
উত্তর : উচ্চতা, 30 m

২। দালানের ছাদের সাথে লাগানো 7.46 m লম্বা একটি মই দেয়ালের সাথে 60° কোণে আছে। 60 kg ভরের এক ব্যক্তি 15 kg ভরের একটি বোঝাসহ 30s-এ মই বেয়ে ছাদে ওঠে। প্রযুক্ত ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

অভিকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে কাজ,

W = ওজন, mg × উল্লম্ব সরণ, h



এখানে, $h = 7.46 \text{ m} \cos 60°$

$m = (60 + 15)$ kg

$g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

$t = 30$ s

$\therefore$ নির্ণেয় কাজ, $W = (60 + 15) \text{ kg} \times 9.8 \text{ ms}^{-2} \times 7.46 \text{ m} \cos 60° \text{ J}$

$= 75 \times 9.8 \times 3.73$ J

$\therefore$ ক্ষমতা, $P = \frac{W}{t} = \frac{75 \times 9.8 \times 3.73 \text{ J}}{30 \text{ s}} = 91.385$ W

৫.৫ গতিশক্তি
Kinetic Energy

হাতুড়ি দিয়ে দেয়ালে পেরেক ঠুকলে হাতুড়ি তীব্র বেগে পেরেককে আঘাত করে। তখন পেরেকটি দেয়ালের বাধা অতিক্রম করে ঢুকে যায়। হাতুড়ি তার গতির জন্যই এই কাজ করতে সক্ষম হয় অর্থাৎ হাতুড়িটির গতিশক্তির জন্যই পেরেকটি দেয়ালের বাধা অতিক্রম করতে পারে। তোমরা নদীতে পাল তোলা নৌকা চলতে দেখেছ। নদীর স্রোতের গতিশক্তি নৌকাকে ভাসিয়ে নিয়ে যায়। জোরে বাতাস বইলে পাল টাঙালে নৌকা এগিয়ে যেতে পারে। বায়ু প্রবাহের গতিশক্তিকে পাল টাঙিয়ে কাজে লাগিয়ে নৌকা এভাবে এগোয়।

পাহাড় পর্বত থেকে সমতলে নামার সময় নদী অত্যন্ত খরস্রোতা হয়। স্রোতের গতিশক্তি খুব বেশি বলে নদী বড় বড় পাথর খণ্ডকে গড়িয়ে নিয়ে যায়।

আবার হাই জাম্প বা লং জাম্প দেওয়ার সময় প্রতিযোগীরা স্থির অবস্থা থেকে লাফ দেয় না, কিছু দূর থেকে দৌড়ে এসে লাফ দেয়। ফলে লাফ দিয়ে অনেক দূর যেতে পারে।

উপরের সকল ঘটনা থেকে লক্ষ করলে দেখা যায় যে, বাইরে থেকে বল প্রয়োগ করে কোনো সচল বস্তুকে থামালে থেমে যাওয়ার আগের মুহূর্ত পর্যন্ত বস্তুটি ঐ বলের বিরুদ্ধে মোট যে পরিমাণ কাজ করে তাই দিয়ে বস্তুটির গতিশক্তির পরিমাপ করা যায়।

কোনো গতিশীল বস্তু তার গতির জন্য কাজ করার যে সামর্থ্য বা শক্তি লাভ করে তাকে বস্তুটির গতিশক্তি বলে। যে কোনো সচল বস্তুর মধ্যে গতিশক্তি থাকে।

একক : গতিশক্তি ও কাজের একক একই। অর্থাৎ গতিশক্তির একক জুল।

মাত্রা : $[E_k] = [\frac{1}{2}mv^2]$

$= [M][LT^{-1}]^2 = [ML^2T^{-2}]$

কোনো বস্তুর গতি চলন ও ঘূর্ণন অথবা চলন-ঘূর্ণন মিলিয়ে জটিল গতিও হতে পারে। অতএব বস্তুর গতিশক্তি রৈখিক গতিশক্তি (translational kinetic energy) বা ঘূর্ণন গতিশক্তি (rotational kinetic energy) বা এই দুই ধরনের গতিশক্তিই হতে পারে। বিনা বাধায় পতনশীল বস্তুর গতিশক্তি হলো রৈখিক গতিশক্তি। ঘুরন্ত বৈদ্যুতিক পাখার গতিশক্তি হলো আবর্ত বা ঘূর্ণন গতিশক্তি। গাড়ির চাকায় এবং ফুটবলে রৈখিক ও আবর্ত দুই ধরনের গতিশক্তি থাকে।

উদাহরণ :

(১) পাথরকে কাচের সঙ্গে ঠেকিয়ে রাখলে কিছু হয় না, কিন্তু পাথর ছুঁড়ে মারলে কাচ ভেঙ্গে যায়। গতির জন্য পাথরটি ঐ কাজ করার সামর্থ্য পায়।

(২) হাতুড়ি দিয়ে দেয়ালে পেরেক ঠুকলে হাতুড়ি তীব্র বেগে পেরেককে আঘাত করে। তখন পেরেকটি দেওয়ালের বাধা অতিক্রম করে ঢুকে যায়। হাতুড়ি তার গতির জন্যই এ কাজ করতে সক্ষম হয়। অর্থাৎ হাতুরিটির গতিশক্তির জন্যই পেরেকটি দেওয়ালের বাধা অতিক্রম করতে পারে।

(৩) পাহাড় পর্বত থেকে সমতলে নামার সময় নদী অত্যন্ত খরস্রোতা হয়। স্রোতের গতিশক্তি খুব বেশি বলে বড় বড় পাথর খণ্ডকে গড়িয়ে নিয়ে যায়।

নিজে কর : নদীতে পালহীন একটি নৌকা এবং পালতোলা আর একটি নৌকা পাশাপাশি ভাসিয়ে দাও। জোরে বাতাস বইলে তুমি কী দেখতে পাবে? তুমি দেখবে পালতোলা নৌকা পালহীন নৌকা অপেক্ষা দ্রুত চলছে। এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

নদীর স্রোতের গতিশক্তি নৌকাকে ভাসিয়ে নিয়ে যায়। বায়ু প্রবাহের গতিশক্তিকে পাল টাঙিয়ে কাজে লাগিয়ে নৌকা এভাবে এগোয়।

গতিশক্তির রাশিমালা প্রতিপাদন
Derivation of Equation for Kinetic Energy

রৈখিক গতির ক্ষেত্রে : গতিশীল বস্তু স্থিতিতে আসার পূর্ব মুহূর্ত পর্যন্ত যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তাই গতিশক্তির পরিমাপ।

চিত্র ৫.১৪

মনে করি, 'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু AB বরাবর v বেগে চলছে। গতির বিপরীত দিকে BA বরাবর তার উপর F পরিমাণ ধ্রুব বল প্রয়োগ করা হলো। এতে সম-মন্দনের সৃষ্টি হবে। মনে করি, সম-মন্দন $= a$ এবং বস্তুটি A হতে s দূরত্ব অতিক্রম করার পর B বিন্দুতে এসে থেমে গেল। এ ক্ষেত্রে শেষ বেগ $v = 0$।

$\therefore$ **গতিশক্তি** = স্থিতিতে আসার পূর্ব মুহূর্ত পর্যন্ত কাজ

= বল $\times$ স্থিতিতে আসার পূর্ব মুহূর্ত পর্যন্ত অতিক্রান্ত দূরত্ব $= F \times s$

নিউটনের ২য় গতি সূত্র হতে আমরা জানি, বল = ভর $\times$ ত্বরণ বা মন্দন $\quad \therefore F = ma$

বর্ণনা অনুসারে, $0 = v^2 - 2as$

বা, $2as = v^2$ বা, $s = \frac{v^2}{2a}$

উপরের সমীকরণে F এবং s-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

গতিশক্তি $= ma \times \frac{v^2}{2a} = \frac{1}{2}mv^2$ বা, $K.E. = \frac{1}{2}mv^2$

অর্থাৎ **গতিশক্তি (K. E.)** $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times$ ভর $\times$ বেগ^2 ... ... (5.26)

একটি গাড়ী 36 km/hr বেগে গতিশীল। প্রায় কোন গতিতে চললে গাড়ীটির গতিশক্তি দ্বিগুণ হবে? [02-03]

A. 7 m/s B. 20 m/s C. 54 m/s D. 14 m/s

$\frac{1}{n} = \frac{V_1^2}{V_2^2} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{10^2}{V_2^2}$;v_1=36km/hr=10m/s

$\therefore v_2 = 14$m/s Ans.D

কাজ, শা

ক্যালকুলাস পদ্ধতি : মনে করি, বস্তুর উপর একটি পরিবর্তনশীল বল ... হলো ds। অতএব, প্রযুক্ত বল দ্বারা কাজ

$$dW = Fds$$

$$= mads \qquad \left[\because F = ma \text{ এবং } a = \frac{dv}{dt}\right]$$

$$= m\frac{dv}{dt}ds \qquad = m\frac{dv}{ds}\times\frac{ds}{dt}\times ds$$

$$= m\frac{ds}{dt}\times\frac{dv}{ds}\times ds = mvdv \qquad \left[\because v = \frac{ds}{dt}\right]$$

$$\therefore dW = mvdv \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.27)$$

বস্তুর বেগ শূন্য থেকে বেড়ে v হলে প্রযুক্ত বল মোট যে কাজ করে তা দিয়ে বস্তুর গতিশক্তির পরিমাপ করা হয়। সুতরাং সমীকরণ (5.27) কে 0 এবং v, এই দুই সীমার মধ্যে সমাকলন করে পাই,

বস্তুর গতিশক্তি, $E_k = W = \int_0^v dW = m\int_0^v vdv = m\left[\frac{v^2}{2}\right]_0^v$

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

$\therefore E_k = \frac{1}{2}mv^2$, এখানে m = ধ্রুবক ... ... (5.28)

$\therefore$ গতিশক্তি $= \frac{1}{2} \times$ ভর $\times$ বেগ^2

ইহাই গতিশক্তির রাশিমালা।

উপরের সমীকরণ থেকে আমরা সিদ্ধান্তে আসতে পারি যে,

- কোনো মুহূর্তে গতিশক্তি হলো ঐ মুহূর্তে বস্তুর বেগের বর্গ ও ভরের গুণফলের অর্ধেক।
- নির্দিষ্ট ভরের কোনো বস্তুর গতিশক্তি $E_k \propto v^2$ অর্থাৎ বেগের বর্গের সমানুপাতিক।
- গতিশক্তি $= \frac{1}{2}\frac{(\text{ভরবেগ})^2}{\text{ভর}}$

গতিশক্তি ও ভরবেগের সম্পর্ক :

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\times\frac{m^2v^2}{m} = \frac{1}{2}\frac{(mv)^2}{m}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{P^2}{m} \qquad [\because \text{ভরবেগ } P = mv]$$

$\therefore$ গতিশক্তি $= \frac{1}{2}\times\frac{(\text{ভরবেগ})^2}{\text{ভর}}$

কাজ-শক্তি উপপাদ্য
Work-energy theorem

কোনো বস্তুর উপর ক্রিয়ারত লব্ধি বল কর্তৃক কৃত কাজ তার গতিশক্তির পরিবর্তনের সমান।

প্রতিপাদন : মনে করি 'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু 'v_0' আদি বেগে চলছে। গতির দিকে নির্দিষ্ট মানের একটি বল F বস্তুর উপর প্রয়োগ করলে বস্তুর বেগ বৃদ্ধি পাবে। ফলে বস্তু শক্তি লাভ করবে। মনে করি s দূরত্ব অতিক্রম করার পর শেষ বেগ 'v' হলো। তা হলে কৃত কাজ, $W = F\times s$।

চিত্র ৬.৯

বল কর্তৃক সৃষ্ট ত্বরণ, $a = \frac{F}{m} = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$ $[\because v^2 = v_0^2 + 2as]$

বা, $F = ma = m\left(\frac{v^2 - v_0^2}{2s}\right)$

$\therefore$ কৃত কাজ, $W = F \times s = m\left(\frac{v^2 - v_0^2}{2s}\right) \times s = \frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2)$

$$\therefore \quad W = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.29)$$

= শেষ গতিশক্তি — আদি গতিশক্তি।

$\therefore$ **বলের দ্বারা কৃত কাজ = শক্তি লাভ = গতিশক্তির পরিবর্তন**

সুতরাং **কোনো বস্তুর উপর ক্রিয়ারত লব্ধি বল কর্তৃক কৃত কাজ তার গতিশক্তির পরিবর্তনের স**
এটি **'কাজ-শক্তি উপপাদ্য'** নামে পরিচিত। সমীকরণ (5.29) উপপাদ্যটি প্রমাণ করে।

[বি.দ্র. : পরিবর্তনশীল বলের ক্ষেত্রেও উপপাদ্যটি প্রযোজ্য।]

কাজটি যাচাই কর : হাই জাম্প বা লং জাম্প দেওয়ার সময় প্রতিযোগীরা স্থির অবস্থা থেকে লাফ দেয় না, বি
থেকে দৌড়ে এসে লাফ দেয়। ফলে অনেক দূর লাফ দেওয়া যায়। ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা সমাধান
Solution of problems

১। গতিশক্তি কি ঋণাত্মক হতে পারে ?

কোনো সচল বস্তুর ভর m এবং বেগ v হলে বস্তুর গতিশক্তি $\frac{1}{2}mv^2$। বস্তুর ভর m কখনোই ঋণাত্মক
পারে না। বস্তুর বেগ ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হতে পারে, কিন্তু বেগের বর্গ সবসময় ধনাত্মক হবে। অতএব ব
গতিশক্তি কখনো ঋণাত্মক হতে পারে না।

২। একটি হালকা বস্তু এবং একটি ভারী বস্তুর ভরবেগ সমান। কোনটির গতিশক্তি বেশি ?

মনে করি, ভারী বস্তুর ভর = M এবং বেগ v_1 এবং হালকা বস্তুর ভর = m এবং বেগ = v_2। বস্তু
ভরবেগ সমান হলে,

$$Mv_1 = mv_2 = P$$

$$\therefore \frac{\text{হালকা বস্তুর গতিশক্তি}}{\text{ভারী বস্তুর গতিশক্তি}} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}Mv_1^2} = \frac{P^2/2m}{P^2/2M} = \frac{M}{m}$$

$\therefore$ m অপেক্ষা M বড় হলে $(M > m)$ হালকা বস্তুর গতিশক্তি ভারী বস্তুর গতিশক্তির চেয়ে বেশি হবে।

৩। একটি হালকা বস্তু এবং একটি ভারী বস্তুর গতিশক্তি সমান। কোনটির ভরবেগ বেশি ?

মনে করি, ভারী বস্তুর ভর M ও বেগ v_1 এবং হালকা বস্তুর ভর m ও বেগ v_2। অতএব ভারী বস্তুর ভ
$P_1 = Mv_1$ এবং হালকা বস্তুর ভরবেগ $P_2 = mv_2$। কিন্তু দুটি বস্তুর গতিশক্তি সমান।

$$\therefore \quad \frac{1}{2}Mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2$$

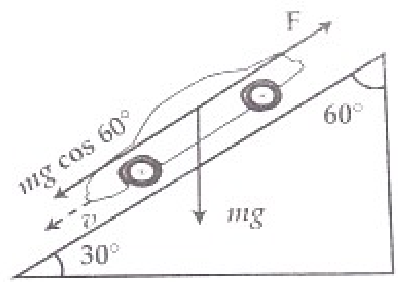
$$\therefore \quad \frac{P_1^2}{2M} = \frac{P_2^2}{2m}$$

$$\therefore \quad \frac{P_1}{P_2} = \sqrt{\frac{M}{m}}$$

m অপেক্ষা M বড় হলে $(M > m)$ ভারী বস্তুর ভরবেগ হালকা বস্তুর ভরবেগের চেয়ে বেশি হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 2000 kg ভরের একটি গাড়ি ভূমির সাথে 30° কোণে আনত একটি রাস্তা ধরে 16 ms^{-1} বেগে নিচে নামার সময় গাড়ির চালক ব্রেক প্রয়োগ করায় গাড়িটি 40 m দূরত্ব অতিক্রম করার পর থেমে যায়। কী পরিমাণ গতি প্রতিরোধকারী বল গাড়িটির উপর ক্রিয়া করে ?



চিত্র ৫·১৫

প্রশ্নানুযায়ী, অভিকর্ষীয় বল mg এর তল বরাবর অংশক = $mg \cos 60°$। এর বিপরীতে গতি প্রতিরোধ বল ক্রিয়া করে। বলদ্বয়ের লব্ধি = $F - mg \cos 60°$

আমরা জানি, গতিশক্তি = কাজ

$$\frac{1}{2} mv_0^2 = (F - mg \cos 60°) \times s$$

বা, $$\frac{1}{2} \times 2000 \times (16)^2 = (F - 2000 \times 9.8 \times \frac{1}{2})$$

$$\therefore \quad F = \frac{2000 \times (16)^2}{2 \times 40} + 2000 \times 9.8 \times \frac{1}{2} = 16200 \text{ N}$$

এখানে,

$m = 2000$ kg

$v_0 = 16$ ms^{-1}

$s = 40$ m

$g = 9.8$ ms^{-2}

২। একটি রাইফেলের গুলি একটি তক্তা ভেদ করে। যদি গুলির বেগ তিনগুণ করা হয় তা হলে একই পুরুত্বের কয়টি তক্তা ভেদ করবে ? (০৫-০৬) [রা. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

কৃত কাজ = গতিশক্তির পরিবর্তন

১ম ক্ষেত্রে,

$$max = \frac{1}{2} mv_1^2 - 0 = \frac{1}{2} mv_1^2$$

২য় ক্ষেত্রে,

$$ma.nx = \frac{1}{2} mv_1^2 - 0 = \frac{1}{2} m (3v_1)^2$$

$$= \frac{9}{2} mv_1^2$$

অতএব, $$\frac{max}{ma.nx} = \frac{\frac{1}{2} mv_1^2}{\frac{9}{2} mv_1^2}$$

বা, $$\frac{1}{n} = \frac{1}{9}$$

$$\therefore \quad n = 9$$

এখানে,

ধরি, গুলির ভর = m

1টি তক্তার পুরুত্ব = x

নির্ণেয় তক্তার সংখ্যা = n

$\therefore$ nটি তক্তার পুরুত্ব = nx

প্রথম গুলির বেগ = v_1

দ্বিতীয় গুলির বেগ = $v_2 = 3v_1$

৩। 2000 কেজি ভরের একটি ট্রাকের ভরবেগ 200 kg ms^{-1} হলে এর গতিশক্তি কত ?

আমরা জানি,

$$E_k = \frac{P^2}{2m} = \frac{(200)^2}{2 \times 2000}$$

$$= 10 \text{ J}$$

এখানে,

$m = 2000$ kg

$P = 200$ kg ms^{-1}

৪। 200 g ভরের একটি বস্তু কত উপর হতে নিচে পড়লে ভূমি স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে এর গা 19·6 জুল হবে ?

আমরা জানি,

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \qquad \cdots \quad \cdots \quad (i)$$

আবার, $v_2 = v_0^2 + 2gh = 2gh$

$$\therefore \quad h = \frac{v^2}{2g}$$

(i)নং থেকে পাই, $19{\cdot}6 = \frac{1}{2} \times 0{\cdot}2 \times v^2$

$$\therefore \quad v^2 = \frac{19{\cdot}6 \times 2}{0{\cdot}2} = 196 \text{ ms}^{-1}$$

$$\therefore \quad h = \frac{196}{2 \times 9{\cdot}8} = 10 \text{ m}$$

এখানে,
ভর, $m = 200 \text{ g} = 0{\cdot}2 \text{ kg}$
গতিশক্তি, $KE = 19{\cdot}6 \text{ J}$
বেগ, $v_0 = 0$
$g = 0$
উচ্চতা, $h = ?$

৫। একজন বালক ও একজন লোক একত্রে দৌড়াচ্ছেন। বালকটির ভর লোকটির ভরের অর্ধেক লোকটির গতিশক্তি বালকটির গতিশক্তির অর্ধেক। লোকটি যদি তার বেগ 1 ms^{-1} বৃদ্ধি করেন তবে গতিশক্তি বালকটির গতিশক্তির সমান হয়। এদের আদিবেগ নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০১১, ২০০৩; সি. বো. ২০

গতিশক্তির সমীকরণ থেকে পাই,

$$KE_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \qquad \cdots \quad \cdots \quad (1)$$

এবং $KE_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 2m_1 v_2^2$

$$= m_1 v_2^2 \qquad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

এখানে, বালকের ভর $= m_1$
লোকের ভর, $m_2 = 2m_1$
বালকের আদিবেগ $= v_1 = ?$
লোকের আদিবেগ $= v_2 = ?$
লোকের শেষ বেগ $= v_2 + 1$

প্রশ্নমতে, $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = 2\, m_1 v_2^2 \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$

এবং $\frac{1}{2}\, m_1 v_1^2 = m_1\,(v_2 + 1)^2 \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4)$

সমীকরণ (3) ও (4) হতে পাই, $2m_1 v_2^2 = m_1\,(v_2 + 1)^2$

বা, $2v_2^2 = v_2^2 + 2v_2 + 1$

বা, $v_2^2 - 2v_2 - 1 = 0$

$$\therefore \quad v_2 = \frac{2 \pm \sqrt{4 + 4}}{2}$$

$$= \frac{2 \pm \sqrt{8}}{2} = 1 \pm \sqrt{2}$$

বেগ ধনাত্মক বলে, $v_2 = 1 + \sqrt{2} = 2{\cdot}41 \text{ ms}^{-1}$

সমীকরণ (3) হতে পাই,

$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = 2\, m_1 v_2^2$

বা, $v_1^2 = 4 \times (2{\cdot}41)^2$

বা, $v_1 = \sqrt{23{\cdot}2324}$

$\therefore \quad v_1 = 4{\cdot}82 \text{ ms}^{-1}$

উত্তর : বালকের আদি বেগ $4{\cdot}82 \text{ ms}^{-1}$ এবং লোকের আদি বেগ $2{\cdot}41 \text{ ms}^{-1}$

৫.৬ স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি
Potential Energy

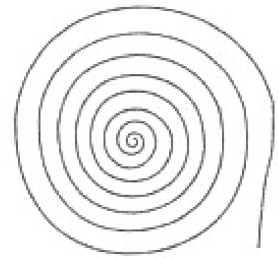
বস্তু তার অবস্থানের জন্য যে শক্তি অর্জন করে অথবা বস্তুস্থিত কণাসমূহের পারস্পরিক অবস্থান পরিবর্তনের জন্য বস্তু যে শক্তি অর্জন করে তাকে বস্তুর স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি বলে।

ধর এক খণ্ড ইট ছাদের উপর উঠিয়ে রেখে দিলে, আবার মোটরের সাহায্যে পানি তুলে ছাদের উপর রক্ষিত একটি ট্যাংকে রেখে দিলে। উভয় ক্ষেত্রে দেখা যাবে যে ইট এবং পানি কম-বেশি শক্তি প্রাপ্ত হয়েছে। এরূপ সকল শক্তিই হলো স্থিতিশক্তি।

উদাহরণ :

(ক) খেলনার মোটর গাড়িতে স্প্রিং লাগানো থাকে [চিত্র ৫.১৭]। এই স্প্রিং-এ দম দিলে তা আকারে ছোট হয়। এই আকার পরিবর্তনের জন্য আমরা কাজ করি যা স্থিতিশক্তিরূপে স্প্রিং-এ সঞ্চিত হয়। দম ছেড়ে দিলে স্প্রিং-এর প্যাঁচ খুলে পুনরায় পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে। স্প্রিং-এর সাথে খেলনার চাকা লাগানো থাকে। ফলে চাকা ঘুরতে থাকে অর্থাৎ স্প্রিং স্থিতিশক্তির দরুন গাড়ি চালাতে কাজ করে।

(খ) হাত ঘড়িতে স্থিতিস্থাপক স্প্রিং-এর সাথে ঘড়ির চাকা যুক্ত থাকে [চিত্র ৫.১৭]। এই স্প্রিং-এ দম দিলে তা আকারে ছোট হয়। এই আকার পরিবর্তন তথা দম দেওয়ার জন্য আমরা কাজ করি যা স্প্রিং-এর মধ্যে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত হয়। স্প্রিং-এর সাথে ঘড়ির কাঁটার এমন একটি সংযোগ থাকে যে স্প্রিং প্যাঁচ খুলে উল্টা দিকে ঘুরে আগের অবস্থায় ফিরে আসার সময় ঘড়ির কাঁটা ঘুরতে থাকে। স্প্রিং-এর স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে পরিণত হয়।



চিত্র ৫.১৭

এরূপ ধনুকের ছিলাতে তীর লাগিয়ে টানলে, ধাতব পাতকে বাঁকালে, রবারকে প্রসারণ করলে সকলেই আকার পরিবর্তনের জন্য স্থিতিশক্তি লাভ করে।

(গ) উচ্চে অবস্থিত পানিতে, পাহাড়ের চূড়ায় বরফে এবং আকাশের মেঘে অবস্থান পরিবর্তনের জন্য স্থিতিশক্তি সঞ্চিত থাকে।

কোনো একটি বস্তু বর্তমান অবস্থা হতে অন্য কোনো স্বাভাবিক বা প্রমাণ অবস্থানে আসতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তাই স্থিতিশক্তির পরিমাপ।

স্থিতিশক্তির প্রকারভেদ
Types of potential energy

স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি বিভিন্ন প্রকার; যথা—

(১) অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি বা অভিকর্ষীয় বিভব শক্তি (Gravitational potential energy)

(২) স্থিতিস্থাপক বিভব শক্তি (Elastic potential energy)

(৩) তড়িৎ বিভব শক্তি (Electric potential energy)

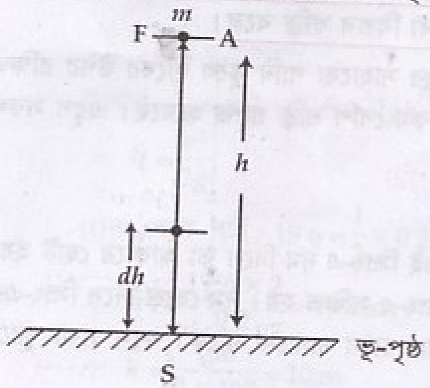
স্থিতি শক্তি বা বিভব শক্তির গাণিতিক রাশিমালা
Mathematical Expression for potential energy

(১) অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি
Gravitational Potential energy

কোনো একটি বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে উপরে তুলতে বাইরের কোনো উৎস বা এজেন্টের প্রয়োজন হয়। এই কাজ বস্তুর মধ্যে স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে। এর নাম অভিকর্ষীয় বিভব শক্তি। এক্ষেত্রে ভূ-পৃষ্ঠকে প্রামাণ্য তল (reference level) হিসেবে বিবেচনা করা হয়।

এখন শক্তির পরিমাপ করা যাক—

ক্যালকুলাস পদ্ধতি : মনে করি m ভরের একটি বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠ থেকে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে অ উচ্চতা dh পর্যন্ত উঠানো হলো। এতে কৃত কাজ,



চিত্র ৫.১৮

$$dW = \vec{F} \cdot \vec{dh}$$

বা, $dW = Fdh$ ... ... (5.

$[\because \theta = 0°]$

এখানে F = বাহ্যিক উৎস কর্তৃক প্রযুক্ত বল এবং F ও d মধ্যবর্তী কোণ শূন্য।

একটি বস্তুকে উপরে উঠাতে হলে এর ওজনের সমপরিম উপর দিকে প্রয়োগ করতে হবে।

∴ **প্রযুক্ত বল, F = বস্তুর ওজন =** mg

সুতরাং, বস্তুটিকে h উচ্চতায় A স্থানে [চিত্র ৫.১৮] উ হলে মোট কৃত কাজের পরিমাণ সমীকরণ (5.30)-এ প্রদত্ত ক্ষুদ্র কাজের সমষ্টির সমান।

∴ অভিকর্ষীয় বিভব শক্তি = বস্তুটিকে ভূ-পৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতায় তুলতে মোট কাজ।

$$P.E. = \int_0^h Fdh = \int_0^h mgdh$$

স্বল্প উচ্চতার জন্য g-এর মান ধ্রুব ধরে আমরা লিখতে পারি,

$$P.E. = mg\int_0^h dh = mg\,[h]_0^h = mg\,[h-0] = mgh$$

অর্থাৎ অভিকর্ষীয় বিভব শক্তি

$\boxed{P.E. = mgh}$ ... ... (5.31

$\boxed{= \text{ভর} \times \text{অভিকর্ষীয় ত্বরণ} \times \text{উচ্চতা}}$

উল্লেখ্য বস্তু যতই নিচে নামতে থাকবে h-এর মান ততই কমবে এবং অভিকর্ষীয় বিভব শক্তিও ক থাকবে। ভূ-পৃষ্ঠে h-এর মান শূন্য হওয়ায় অভিকর্ষীয় বিভব শক্তি শূন্য হবে।

কোনো বস্তুর অভিকর্ষীয় বিভব শক্তির মান প্রামাণ্য তলের সাপেক্ষে বস্তুর অবস্থানের উপর নির্ভর ক সমুদ্র পৃষ্ঠকে প্রামাণ্য তল বিবেচনা করে কোনো অবস্থানের বিভব শক্তি এবং কোনো উঁচু পাহাড়ের চূড়া প্রামাণ্য বিবেচনা করলে ঐ একই অবস্থানের বিভব শক্তি এক হবে না, ভিন্নতর হবে। প্রকৃতপক্ষে কোনো স্থানের বি শক্তির পরম মান নির্ণয় করা যায় না, প্রমাণ তল বা প্রসঙ্গ তল সাপেক্ষে বিভব শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করা হয়।

বিভব শক্তির মান ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয়ই হতে পারে। এটা নির্ভর করে প্রসঙ্গ বা প্রামাণ্য ত উপর। ভূ-পৃষ্ঠকে প্রামাণ্য তল বিবেচনা করলে উপরের দিকে বিভব শক্তি ধনাত্মক হবে আবার ভূগর্ভে বা খনি বিভব শক্তি ঋণাত্মক হবে।

কাজ : দুটি পানি পূর্ণ চৌবাচ্চা নাও যাদের নির্গম নল একই আকৃতির। একটি চৌবাচ্চাকে ভূমিতে রাখ। অ চৌবাচ্চাকে দালানের ছাদের উপর স্থাপন কর। এবার দুটি চৌবাচ্চার নির্গম নলকে খুলে দাও। কোন চৌবাচ্চার পানি বেগ বেশি হবে?

ছাদের উপরের চৌবাচ্চা উঁচু জায়গায় থাকার জন্য স্থিতিশক্তি অর্জন করে। তাই নির্গম নল খুলে দিলে ভূমি রাখা চৌবাচ্চা অপেক্ষা ছাদে রাখা চৌবাচ্চার পানি বেশি বেগে প্রবাহিত হয়।

➢ 60 m উচ্চতা থেকে একটি বস্তুকে বিনা বাধায় পড়তে দিলে ভূমি থেকে কত উচ্চতায় উহার গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হবে।

কাজ,

Sol. $x = \frac{h}{n+1} = \frac{60}{2+1} = 20\text{m}$ (Ans.)

গাণিতিক উদাহরণ

১। 30 m উচ্চতা থেকে একটি বস্তুকে ... শক্তির দ্বিগুণ হবে ?

ধরি 30 m উচ্চতা হতে x m নিচে ...র গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হবে।

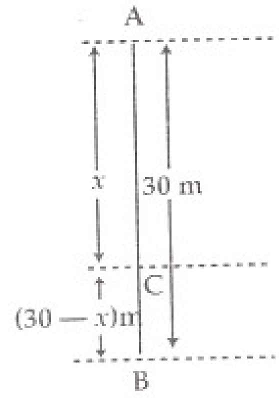
ধরি C বিন্দুতে বেগ v_1

দেওয়া আছে,

উচ্চতা, $h = 30$ m

আদিবেগ, $v_0 = 0$

এবং ত্বরণ $= g$ (ধরি)



চিত্র ৫·১৯

C বিন্দুতে অর্থাৎ $(30 - x)$ m উচুতে বিভব শক্তি,

$$E_1 = mg(30 - x) \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এবং ঐ উচ্চতায় বস্তুর গতিশক্তি,

$$E_2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

এখন $v^2 = 0 + 2gh$

বা, $v^2 = 2gx$

$\therefore \quad E_2 = \frac{1}{2}m(2gx) = mgx$

প্রশ্নমতে, $2E_1 = E_2$

$2mg(30 - x) = mgx$

বা, $2mg \times 30 - 2mgx = mgx$

বা, $2mg \times 30 = 3mgx$

বা, $x = \frac{60}{3} = 20$ m

$\therefore$ ভূমি হতে $(30 - 20) = 10$ m উচ্চতায় গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হবে।

২। 25 m উচ্চতা হতে 4 kg ভর মুক্তভাবে অভিকর্ষের টানে পড়তে থাকলে 2s পরে ভরটির গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি কত হবে ?

এখানে, $m = 4$ kg

$g = 9{\cdot}8\ \text{ms}^{-2}$

$t = 2$ s

বস্তুটির 2s-এ উল্লম্ব সরণ,

$$h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9{\cdot}8\ \text{ms}^{-2} \times (2\ \text{s})^2 = 19{\cdot}6\ \text{m}$$

অভিকর্ষীয় বল কর্তৃক কৃত কাজ,

W = ওজন, $mg \times$ উল্লম্ব সরণ, h

প্রশ্নানুযায়ী, 2 s পরে গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \times 2gh$

[$\because v^2 = v_0^2 + 2gh$ এবং $v_0 = 0$]

$= mgh =$ অভিকর্ষীয় বল কর্তৃক কৃত কাজ

$= 4\ \text{kg} \times 9{\cdot}8\ \text{ms}^{-2} \times 19{\cdot}6\ \text{m} = 768{\cdot}32$ J

ও স্থিতিশক্তি $= mg \times$ ভূ-পৃষ্ঠ হতে উচ্চতা

$= 4 \times 9{\cdot}8 \times (25 - 19{\cdot}6) = 211{\cdot}68$ J

৩। দুটি বস্তুর ভরবেগ সমান কিন্তু ভর ভিন্ন হলে কোনটির গতিশক্তি বেশি হবে ?

মনে করি,

প্রথম বস্তুর ভর m_1 ও বেগ v_1

এবং দ্বিতীয় বস্তুর ভর m_2 ও বেগ v_2

এখন প্রথম বস্তুর গতিশক্তি

$$E_{k_1} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

দ্বিতীয় বস্তুর গতিশক্তি

$$E_{k_2} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

$$(i) \div (ii) \quad \therefore \frac{E_{k_1}}{E_{k_2}} = \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2}$$

$$= \frac{(m_1 v_1)^2 \times m_2}{(m_2 v_2)^2 \times m_1} \quad [\because m_1 v_1 = m_2 v_2]$$

$$= \frac{m_2}{m_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$$

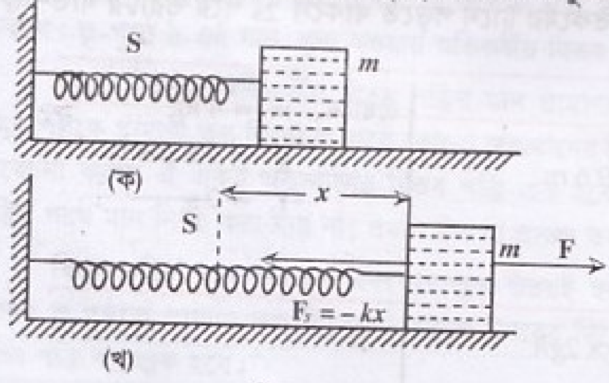
(iii) নং সমীকরণ অনুযায়ী $m_2 > m_1$ হলে $E_{k_1} > E_{k_2}$ হবে অর্থাৎ যে বস্তুর ভর কম তার গতিশক্তি হবে।

(২) স্থিতিস্থাপক বিভব শক্তি
Elastic potential energy

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে একটি বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা হলে বস্তুর বিকৃতি ঘটে। বিকৃতি ঘ বস্তুর উপর কাজ সাধিত হয়। এই কাজ বস্তুর মধ্যে স্থিতি বা বিভব শক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে। এর স্থিতিস্থাপক বিভব শক্তি।

স্প্রিং-এ সৃষ্ট বিভব শক্তি নিম্নের আলোচনা থেকে বোঝা সহজ হবে।

স্প্রিং-এর বিভব শক্তি : ধরি একটি অনুভূমিক আদর্শ স্প্রিং-এর এক প্রান্ত দেওয়ালের সাথে আটকানো অপর প্রান্তে m ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু যুক্ত আছে। বস্তুটি অনুভূমিক ও ঘর্ষণহীন তলের উপর দিয়ে যাতায়াত ক পারে [চিত্র ৫·২০]। বস্তুটিকে টেনে স্প্রিংটিকে বরাবর বিকৃত করলে স্থিতিস্থাপক ধর্মের প্রযুক্ত বলের বিপরীতে স্প্রিং-এ প্রত্যায়নী বলের ঘটবে। F অনুভূমিক বল প্রয়োগে বস্তুটিকে হতে ডানদিকে দৈর্ঘ্য অনুভূমিক বরাবর তার দৈ পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে স্প্রিং-এ $-kx$ পরিমাণ প্রত্য বল উৎপন্ন হবে। এখন বস্তুটিকে x দূরত্ব স তার উপর এর সমান ও বিপরীতমুখী $F = kx$ প্রয়োগ করে কাজ করতে হবে। এই সম্প্রস প্রযুক্ত বল দ্বারা কৃত কাজই হবে বস্তুটির সঞ্চিত বিভব শক্তি।



চিত্র ৫·২০

সুতরাং বিভব শক্তি, $U = \int_0^x F dx = \int_0^x kx\, dx$

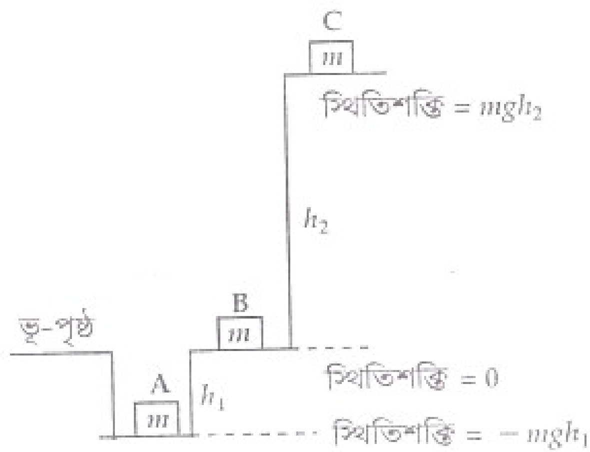
$$= k\int_0^x x\,dx = \frac{1}{2}k \left[x^2\right]_0^x = \frac{1}{2}kx^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.3$$

স্প্রিংটিকে দৈর্ঘ্য x পরিমাণ সংকুচিত করলেও সঞ্চিত বিভব শক্তি $\frac{1}{2}kx^2$ হবে।

সমস্যা সমাধান
Solution of problems

১। স্থিতিশক্তি কি ঋণাত্মক হতে পারে ?

নির্দেশনা : স্থিতিশক্তি ঋণাত্মক হতে পারে। যেমন, অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তির বেলায় ভূ-পৃষ্ঠের উপর যে কোনো বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি ধনাত্মক হয়। ভূ-পৃষ্ঠের নিচে যেমন খনির ভিতরে অবস্থিত বস্তুর স্থিতিশক্তি ঋণাত্মক হয় [চিত্র ৫'২১]। এই চিত্রে ভূ-পৃষ্ঠের B বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তি শূন্য। h_2 উচ্চতায় C বিন্দুতে স্থিতিশক্তি mgh_2। C থেকে B-তে নেমে আসার সময় বস্তুর স্থিতিশক্তি কমতে থাকে। একই-ভাবে B থেকে নিচে A বিন্দুতে যাওয়ার সময় বস্তুর স্থিতিশক্তি কমবে। অতএব, B বিন্দুতে স্থিতিশক্তি শূন্য বলে A বিন্দুতে স্থিতিশক্তি ঋণাত্মক হবে। A বিন্দু যদি h_1 গভীরতায় থাকে, তবে ঐ বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি $-mgh_1$ হবে। বস্তুটিকে আবার A থেকে B বিন্দুতে নিয়ে যেতে হলে বস্তুটির উপর ওজন অর্থাৎ অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হবে।

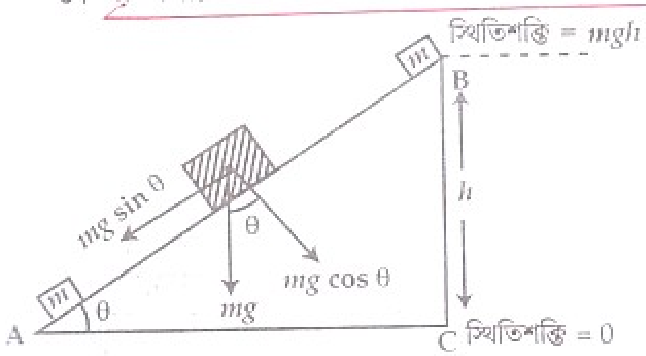


চিত্র ৫'২১

২। একটি বস্তুর স্থিতিশক্তি কীভাবে শূন্য হয় ?

নির্দেশনা : প্রমাণ অবস্থান বা আকৃতি থেকে বস্তুকে অন্য অবস্থান বা আকৃতিতে নিয়ে যেতে হলে বস্তুটির উপর সবসময়ই কোনো বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। এই কাজ বস্তুটিতে স্থিতিশক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে। বস্তুটি তার প্রমাণ অবস্থান বা আকৃতিতে ফিরে আসার সময় এই স্থিতিশক্তির দরুন নিজে কাজ করতে পারে। নিজে কাজ করায় বস্তুটির স্থিতিশক্তি ক্রমশ হ্রাস পায় এবং হ্রাস পেতে পেতে প্রমাণ অবস্থান বা আকৃতিতে ফিরে এলে বস্তুটির স্থিতিশক্তি শূন্য হয়। এই অবস্থায় বস্তুটি আর কাজ করে না।

৩। অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি কেবলমাত্র h-এর উপর নির্ভর করে কিন্তু পথের উপর নির্ভর করে না কেন ?



চিত্র ৫'২২

নির্দেশনা : কোনো বস্তুকে খাড়াভাবে h উচ্চতায় কোনো পথে নেওয়া হলে স্থিতিশক্তি তার উপর নির্ভর করে না। অর্থাৎ বস্তুটিকে খাড়াভাবে h উচ্চতায় না তুলে অন্য যে কোনো পথে যদি এই উচ্চতায় নিয়ে যাওয়া হয়, তাহলেও স্থিতিশক্তির মান একই থাকে। যেমন m ভরের বস্তুকে C বিন্দু হতে খাড়া B বিন্দুতে নিলে বস্তুটির স্থিতিশক্তি $= mgh$ [চিত্র ৫'২২]।

আবার মনে করি m ভরের বস্তুটি একটা ঘর্ষণহীন নততল AB এর উপর দিয়ে টেনে h উচ্চতায় তোলা হলো। নততল বরাবর নিচের দিকে বস্তুর ওজন mg-এর উপাংশ হলো $mg \sin \theta$। নততল বরাবর বস্তুকে উপরে টেনে তুলতে এই উপাংশের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। বস্তুর ওজনের অন্য উপাংশ $mg \cos \theta$ বস্তুর সরণের লম্ব দিকে ক্রিয়া করে বলে কোনো কাজ করে না। নততল বরাবর বস্তুর সরণ হলো AB। অতএব,

$$\text{মোট কাজ} = \text{বল} \times \text{সরণ} = mg \sin \theta \times AB = mg \times AB \sin \theta = mg \times BC = mgh$$

সংজ্ঞা অনুযায়ী এই কাজ হলো বস্তুটির স্থিতিশক্তি। অতএব কোনো বস্তুকে যে পথেই উপরে তোলা যাক না কেন, নির্দিষ্ট উচ্চতায় এর অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তির মান একই হয়।

হিসাব কর : 50N ওজনের একটি বস্তুকে 6 m উচ্চতায় উঠানোর জন্য একটি লিফ্‌ট ব্যবহার করা হলো। এটি 70 J শক্তি ব্যয় করে। অপচয়কৃত শক্তির পরিমাণ কত হবে হিসাব কর।

এখানে ব্যয়িত শক্তি $=$ কাজ $=$ বল $\times$ সরণ $=$ ওজন $\times$ উচ্চতা $= 50 \times 6 = 300$ J

অপচয়কৃত শক্তি $=$ সরবরাহকৃত শক্তি — ব্যয়িত শক্তি $= 300\text{ J} - 70\text{ J} = 230$ J

কাজ : কয়েকটি সমান ভরের কাচের মার্বেল একই সারিতে পরস্পর সংলগ্ন অবস্থায় একটি মসৃণ অনুভূমিক টেবিলের উপর রাখ। অনুরূপ দুটি মার্বেল একত্রে গড়িয়ে দিয়ে ঐ সারির এক প্রান্তে আঘাত কর। কী দেখতে পাবে ? সারির অপর প্রান্ত থেকে দুটি মার্বেল এক সাথে একই বেগে গতিশীল হবে কেন ?

এক্ষেত্রে ভরবেগ ও যান্ত্রিক শক্তি উভয়েই সংরক্ষণ নীতি মেনে চলে। তার ফলে সারির অপর প্রান্ত থেকে দুটি মার্বেল একই সাথে একই বেগে গতিশীল হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 2 kg ভরের একটি বস্তু ভূ-পৃষ্ঠ হতে 15 m উপরে আছে। নিচে ফেলে দিলে এটি ভূ-পৃষ্ঠকে 10 ms^{-1} বেগে আঘাত করে। পতনের সময় স্থিতিশক্তি এবং বস্তুটির উপর ক্রিয়ারত ঘর্ষণজনিত ব্যয়িত শক্তি ও ঘর্ষণ বল কত হবে ?

এখানে স্থিতিশক্তি $=$ ঘর্ষণে ব্যয়িত শক্তি $+$ চূড়ান্ত গতিশক্তি

$$mgh = Fh + \frac{1}{2}mv^2$$

বা, $$Fh = mgh - \frac{1}{2}mv^2$$

$$= 2 \times 9.8 \times 15 - \frac{1}{2} \times 2\,(10)^2$$

$$= 294 - 100 = 194\text{ J}$$

এখানে,
ভর, $m = 2$ kg
অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8\text{ ms}^{-2}$
উচ্চতা, $h = 15$ m
বেগ, $v = 10\text{ ms}^{-1}$

$$\therefore\ F = \frac{194}{h} = \frac{194}{15} = 12.9\text{ N}$$

২। 60 kg ভরের জনৈক ব্যক্তি 20 মিনিটে 180 m উচ্চ একটি চূড়ায় আরোহণ করেন। তার বিভব শক্তি কত ? কাজ ও প্রযুক্ত ক্ষমতা নির্ণয় কর।

প্রশ্নানুসারে অভিকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে কাজ,

W $=$ বল $\times$ বলের ক্রিয়া রেখায় সরণ

$=$ ওজন $\times$ উল্লম্ব সরণ

$= mg \times h$

$\therefore$ নির্ণেয় কাজ, $W = 60\text{ kg} \times 9.8\text{ ms}^{-2} \times 180\text{ m} = 10.584 \times 10^4$ J

এখানে, $m = 60$ kg
$g = 9.8\text{ ms}^{-2}$
$h = 180$ m

$\therefore$ 180 মিটার উচ্চতায় বিভব শক্তি $=$ অভিকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে কৃত কাজ $= 10.584 \times 10^4$ J

প্রযুক্ত ক্ষমতা, $$P = \frac{W}{t} = \frac{10.584 \times 10^4\text{ J}}{20 \times 60\text{ s}}$$

$$= 88.2\text{ W}$$

এখানে,
$t = 20$ মিনিট $= 20 \times 60$ s

৫-৭ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	স্প্রিং এর বিভব শক্তি নির্ণয়।
পিরিয়ড : ২	Determination of potential energy of a spring.

তত্ত্ব : মনে করি, একটি স্প্রিং-এর প্রান্তে m ভরের ভার ঝুলালে বা F পরিমাণ বল প্রয়োগে স্প্রিংটি x পরিমাণ সম্প্রসারিত হয়। স্প্রিংটির সরণ প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ $F \propto x$ হয়।

বা, $F = Kx$ [এখানে K = স্প্রিং ধ্রুবক] ... ... (i)

এখন স্প্রিংটিকে x_1 থেকে x_2 অবস্থানে প্রসারিত করতে বাইরের বল দ্বারা কাজ

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F\,dx = \int_{x_1}^{x_2} Kx\,dx = K\int_{x_1}^{x_2} x\,dx$$

$$= K\left[\frac{x^2}{2}\right]_{x_1}^{x_2} = \frac{K}{2}\left(x_2^2 - x_1^2\right)$$

$$\therefore \quad W = \frac{1}{2}K\left(x_2^2 - x_1^2\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

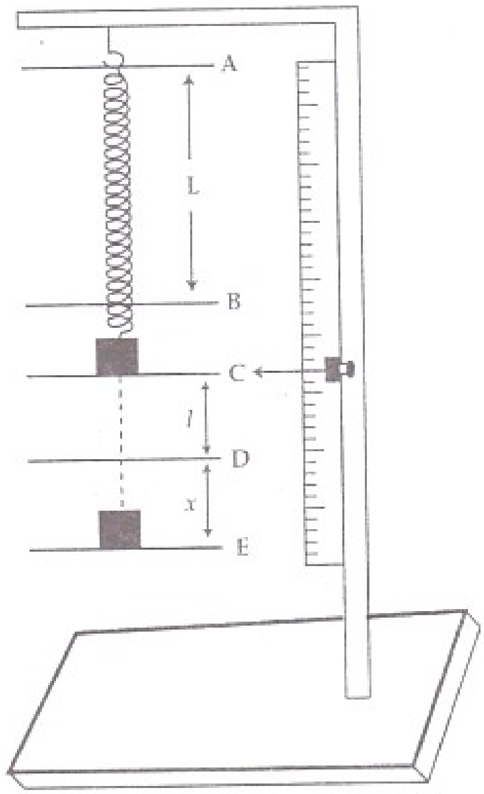
এই কাজ ধনাত্মক কাজ। সম্পাদিত এই কাজ স্প্রিং-এর মধ্যে বিভব শক্তিরূপে সঞ্চিত থাকবে।

$x_1 = 0$ এবং $x_2 = x$ ধরলে

$$W = \frac{1}{2}K\left(x^2 - 0\right)$$

$$\text{বা,} \quad W = \frac{1}{2}Kx^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$$

m পরিমাণ ভরের জন্য স্প্রিংটি l পরিমাণ প্রসারিত হয় এবং এই অবস্থায় স্প্রিংটিকে x পরিমাণ টেনে ছেড়ে দিলে ইহা সরল ছন্দিত গতিতে স্পন্দিত হয় এবং এর দোলন কাল, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ হয়।



চিত্র ৫.২৩

যন্ত্রপাতি :

(১) পরীক্ষণীয় স্প্রিং।
(২) একটি মিটার স্কেল।
(৩) সুবিধাজনক কয়েকটি ভার।
(৪) স্প্রিং ঝুলাবার জন্য হুক।
(৫) একটি স্টপ ওয়াচ।

কার্যপদ্ধতি :

(১) চিত্র অনুযায়ী স্প্রিংটিকে একটি হুক থেকে ঝুলিয়ে দিতে হবে।

(২) এর প্রান্তে অর্থাৎ নিচের হুকে একটি ওজন বা ভার ঝুলিয়ে দিলে তা কিছু পরিমাণ লম্বা হবে। স্থির অবস্থান এবং পরিবর্তিত অবস্থানের মধ্যবর্তী দূরত্ব মিটার স্কেল দিয়ে পরিমাপ করতে হবে। ইহাই বর্ধিত দৈর্ঘ্য, l।

(৩) এরপর ভারটিকে নিচের দিকে টেনে x পরিমাণ সম্প্রসারণ করে ছেড়ে দিতে হবে। পুনরায় মিটার স্কেল দিয়ে দৈর্ঘ্য সম্প্রসারণ x পরিমাপ করতে হবে।

(৪) স্প্রিংটি এই অবস্থায় উপরে নিচে স্পন্দিত হবে। একটি স্টপওয়াচের সাহায্যে 20 দোলনের সম[...] করতে হবে। এই সময়কে দোলন সংখ্যা দিয়ে ভাগ করে পর্যায়কাল T নির্ণয় করতে হবে।

(৫) ভার পরিবর্তন করে (৩) ও (৪)নং পরীক্ষণটি কয়েকবার সম্পন্ন করা হয়।

ডাটা ছক–১ (T এবং x নির্ণয়ের ছক)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্প্রিং এর আদি দৈর্ঘ্য L(m)	ভার ঝুলাবার পর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি l (m)	বল প্রয়োগ করে দোলন দেওয়ার জন্য স্প্রিং এর সম্প্রসারণ x (m)	20 দোলনের সময় (sec)	পর্যায়কাল T (sec)	স্প্রিং ধ্রুবক K	বিভব শক্তি $W=\frac{1}{2}Kx^2$ (J)

হিসাব ও গণনা :

$l = \ldots\ldots$ m

$x = \ldots\ldots$ m

পর্যায়কাল, $\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}}$ বা, $T^2 = 4\pi^2\frac{m}{K}$

$\therefore \quad K = 4\pi^2\frac{m}{T^2}$

বিভব শক্তি $W = \frac{1}{2}Kx^2 = \ldots\ldots\ldots$ Joule

সতর্কতা ও আলোচনা : (১) স্প্রিংটিকে এমনভাবে ঝুলাতে হবে যাতে এর প্রান্তে ভার ঝুলাবার পর উপরের হুক থেকে খুলে না যায়।

(২) ভার ক্রমান্বয়ে বর্ধিত করে স্প্রিং–এর সম্প্রসারণ নির্ণয় করা হয়।

(৩) স্প্রিংটির প্রান্তে ভার ঝুলাবার পর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সময় যাতে বাধা প্রাপ্ত না হয় সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

(৪) সঠিক দৈর্ঘ্য সম্প্রসারণ পরিমাপে ক্যাথেডোমিটার ব্যবহার করা উচিত।

৫.৮ শক্তির নিত্যতার নীতির ব্যবহার
Use of Conservation Principle of Energy

দুই হাতের তালু একত্রে ঘষলে তালু গরম হয়; এক্ষেত্রে যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। পতন[...] বস্তু মাটিতে আঘাত করে থেমে গেলে যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে এবং কিছুটা শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। আবার কোনো যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের মধ্যে ঘর্ষণের ফলে তাপ শক্তির উদ্ভব হয়। উপরের ঘটনাগুলি লক্ষ করলে দেখা যায় শক্তি এক রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত হয়। আবার আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বে দেখা যায় ভর শ[...] রূপান্তরিত হয়। কোনো বস্তুর মধ্যে শক্তির পরিমাণ বাড়লে ঐ বস্তুর ভরও বাড়ে। আবার বস্তুর মধ্যে শ[...] পরিমাণ কমলে এর ভরও কমে। মেঝের উপর দিয়ে একটি বাক্সকে টানলে ঘর্ষণে তাপ সৃষ্টি হয়।

উপরিউক্ত সকল ক্ষেত্রে (সংরক্ষিত বা অসংরক্ষিত) দেখা যায় যে, শক্তি যেমন এক রূপ থেকে অন্য [...] রূপান্তরিত হচ্ছে তেমনি এই শক্তি শেষ বা ধ্বংস হয় না। এটাই শক্তির নিত্যতা।

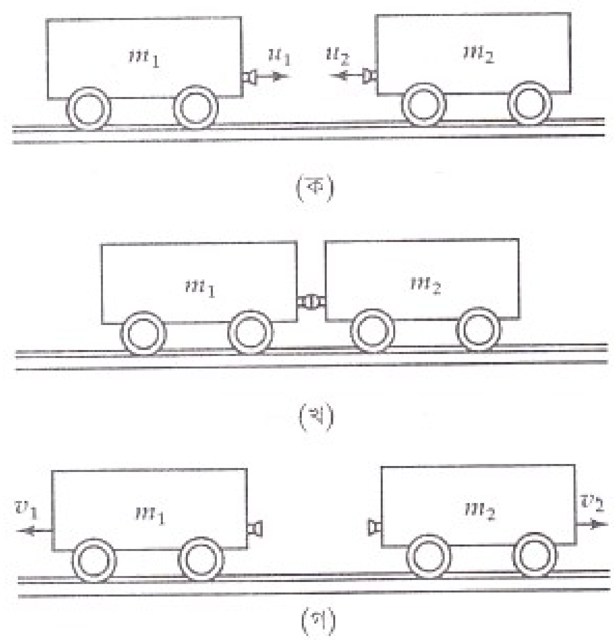
সূত্র : শক্তি অবিনশ্বর, শক্তি সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না। এক রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত যায়। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ ধ্রুবক। বৈদ্যুতিক ইস্ত্রিতে তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চালনা করলে তাপ উৎপন্ন হয়।

তাপ দিয়ে আমরা কাপড় ইস্ত্রি করি। এক্ষেত্রে বিদ্যুৎ শক্তি তাপ শক্তিতে এবং তাপ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এক্ষেত্রে শক্তির কোনো ক্ষয় বা বিনাশ নেই। কেবলমাত্র রূপান্তর আছে।

নিউক্লিয়ার রিয়্যাক্টরের কথা তোমরা শুনেছ। নিউক্লিয়ার রিয়্যাক্টরের মধ্যে একটি নিউট্রন দ্বারা ভারী পরমাণু $\left(U^{235}_{92}\right)$ কে আঘাত করে নিউক্লিও ফিশন বিক্রিয়া ঘটানো হয়। এই বিক্রিয়ায় প্রচুর পরিমাণে তাপ শক্তি উৎপন্ন হয়। এই তাপ শক্তিকে কাজে লাগিয়ে টারবাইন ঘুরিয়ে আবার বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করা হয়। এক্ষেত্রে দেখা যায় পারমাণবিক শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং তাপ শক্তি আবার বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এক্ষেত্রেও শক্তির কোনো বিনাশ বা ধ্বংস নেই। এক রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত হচ্ছে।

শক্তি যখন এক রূপ থেকে অন্য রূপে পরিবর্তিত হয় তখন এর কোনো ঘাটতি বা বাড়তি ঘটে না। অর্থাৎ শক্তির বিনাশ বা সৃষ্টি উভয়ই অসম্ভব। যখন এক প্রকার শক্তি বিলুপ্ত হয় তখন তা অন্য রূপে কোথাও আত্মপ্রকাশ করে। এর নাম শক্তির নিত্যতা বা শক্তির অবিনশ্বরতা (Conservation of Energy)।

দুটি চলন্ত গাড়ির মুখোমুখি সংঘর্ষের ক্ষেত্রেও শক্তির এরূপ রূপান্তর হয় [চিত্র ৫·২৪(ক)]। সংঘর্ষের আগে গাড়ি দুটির শুধু গতিশক্তি থাকে। সংঘর্ষের সময় গাড়ি দুটি মুহূর্তের জন্য স্থির থাকে [চিত্র ৫·২৪(খ)]। ঐ মুহূর্তে ওদের গতিশক্তি শূন্য অর্থাৎ সম্পূর্ণ গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে। যদি সংঘর্ষের সময় গাড়ি দুটি পরস্পরের উপর একটি স্প্রিং-এর মাধ্যমে ক্রিয়া করে, তবে স্প্রিংটি সঙ্কুচিত হয়, অর্থাৎ স্প্রিংটির উপর কাজ করা হয়, ফলে সঙ্কুচিত স্প্রিংটিতে স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হয়। পর মুহূর্তে স্প্রিংটি প্রসারিত হয়। এখন স্প্রিংটি কাজ করে; ফলে ওর মধ্যে সঞ্চিত স্থিতিশক্তি ব্যয় হয়ে যায়। দেখা যায় যে, গাড়ি দুটি বিচ্ছিন্ন হয়ে বিপরীত দিকে চলতে থাকে [চিত্র ৫·২৪(গ)]। এখন গাড়ি দুটির শুধু গতিশক্তি থাকে।



চিত্র ৫·২৪ : যান্ত্রিক শক্তির রূপান্তর ও সংরক্ষণ।

যান্ত্রিক শক্তির রূপান্তরের এরকম অসংখ্য দৃষ্টান্ত দেওয়া যায়— যেমন সরল দোলকের দোলন এবং নততলে বস্তুর গতি। এই সব উদাহরণ থেকে একটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায়। আমরা জানি, শক্তি সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না। অতএব, এই সব উদাহরণে বস্তুর গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে ও স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয় মাত্র; স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফল অর্থাৎ বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তি সব সময় স্থির থাকে। একে **যান্ত্রিক শক্তির সংরক্ষণ নীতি** (Principle of conservation of mechanical energy) বলে। কিন্তু ঘর্ষণ বল থাকলে এই বল সব সময় বস্তুর গতিকে বাধা দেয়। ফলে কিছু পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি এই বাধা অতিক্রম করার জন্য অপচয় হয় এবং তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

উপরের উদাহরণের ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতার সূত্র প্রযোজ্য হয়। কোনো অপচয়ী বল না থাকলে এবং সংঘর্ষটি সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক হলে মোট শক্তি অপরিবর্তিত থাকে। অতএব

$$\text{সংঘর্ষের আগে গতিশক্তি} = \text{সঞ্চিত স্থিতিশক্তি} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

কোনো প্রক্রিয়ায় কোনো রাশির মান সবসময় অপরিবর্তিত থাকলে রাশিটি সংরক্ষিত (conserved) আছে বলা হয়। অতএব মোট যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষিত আছে।

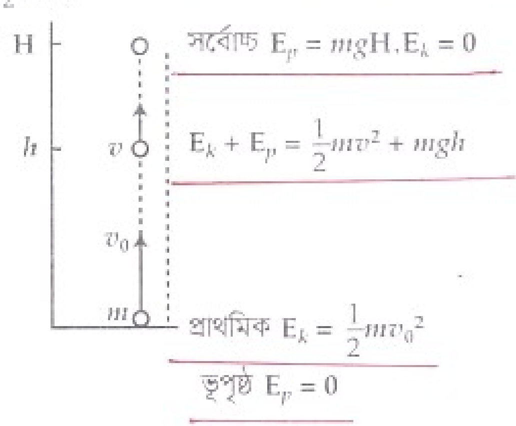
উৎক্ষিপ্ত বস্তুর সর্বোচ্চ উচ্চতায় শক্তির নিত্যতার সূত্র
Conservation of Energy at Maximum Height of a Thrown Body

গতির জন্য বস্তুতে গতিশক্তি এবং অবস্থানের জন্য স্থিতিশক্তি থাকে। একটি সচল বস্তুর গতিশক্তি (E_k) এব স্থিতিশক্তি (E_p) দুই-ই থাকতে পারে। যেমন, একটি উড়ন্ত বিমানের বা উপর দিকে ছোঁড়া পাথরের গতিশক্তি স্থিতিশক্তি দুই-ই থাকে। তখন বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তি বলতে এর গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল বোঝায় অতএব, মোট যান্ত্রিক শক্তি—

$$E_T = E_k + E_p \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.32)$$

বস্তুর গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে বা স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। এরকম রূপান্তরের অনে উদাহরণ দেওয়া যায়। এখন আমরা উৎক্ষিপ্ত বস্তুর সর্বাধিক উচ্চতার শক্তির নিত্যতা সূত্র প্রয়োগ করব।

মনে করি, ভূ-পৃষ্ঠ থেকে m ভরের একটি পাথরকে v_0 বেগে উপরের দিকে খাড়াভাবে নিক্ষেপ করা হলে [চিত্র ৫·২৪(ঘ)]। ভূ-পৃষ্ঠকে নির্দেশ তল ধরে নিলে পাথরটির প্রাথমিক স্থিতিশক্তি $= 0$ ও প্রাথমিক গতিশ $= \frac{1}{2}mv_0^2$। পাথরটি যত উপরে ওঠে এর অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি তত বাড়তে থাকে; কিন্তু সাথে সাথে পাথরটি



চিত্র ৫·২৪(ঘ)

বেগ কমতে থাকে অর্থাৎ এর গতিশক্তি কমতে থাকে। অতএব উপরে ওঠার সময় পাথরটির গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরি হতে থাকে। h উচ্চতায় পাথরটির উপরের দিকে বেগ যদি হয় $(v < v_0)$, তবে এই বিন্দুতে পাথরটির গতিশক্তি $= \frac{1}{2}m$ ও স্থিতিশক্তি $= mgh$ হয়। সুতরাং পাথরটির মোট যান্ত্রিক শ হয় $= \frac{1}{2}mv^2 + mgh$। সর্বোচ্চ অবস্থানে পৌঁছে পাথর মুহূর্তের জন্য স্থির থাকে। তখন পাথরটির গতিশক্তি শূন্য কি এর স্থিতিশক্তি সবচেয়ে বেশি হয়। পাথরটির সর্বোচ্চ উচ্চ যদি H হয় তবে এই অবস্থানে পাথরটির স্থিতিশক্তি $= mg$ হয়।

অতএব সর্বোচ্চ অবস্থানে পাথরটির সম্পূর্ণ গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে যায়।

সর্বোচ্চ অবস্থানে পৌছানোর পর পাথরটি আবার নিচের দিকে পড়তে থাকে। তখন ঠিক বিপরীত ক্রিয়া হয় পাথরটির স্থিতিশক্তি ক্রমশ কমতে থাকে এবং গতিশক্তি বাড়তে থাকে। নির্দেশ তলে বস্তুটির কেবল গতিশক্তি থাকে ওর স্থিতিশক্তি আবার শূন্য হয়।

এক্ষেত্রে সহজে প্রমাণ করা যায় যে, ঘর্ষণ বলের মতো কোনো অপচয়ী বল (dissipative force) থাকলে প্রাথমিক অবস্থানে পাথরটির নীট শক্তি (যা সম্পূর্ণই গতিশক্তি) সর্বোচ্চ অবস্থানে পাথরটির মোট শক্তির সম্পূর্ণই স্থিতিশক্তি) সমান হয়, অর্থাৎ $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgH$। অর্থাৎ আগের কোনো বিন্দুতেও মোট শক্তি অপরিবর্তি থাকে। অতএব,

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgH = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

অবাধে পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রেও এই নীতি প্রযোজ্য হয়। যে স্থান থেকে বস্তুকে উপরের দিকে v_0 বে ছোঁড়া হয়েছিল, বস্তুটি যখন আবার সেই প্রাথমিক অবস্থানে ফিরে আসে তখন এর বেগ v_0 হয়। এই সময় বস্তু শক্তি সম্পূর্ণই গতিশক্তি। অতএব এর মোট শক্তি পুনরায় $\frac{1}{2}mv_0^2$ হয়। অতএব **উৎক্ষিপ্ত বস্তু সর্বাধিক উচ্চতা শক্তির নিত্যতার সূত্র মেনে চলে।**

গাণিতিক উদাহরণ

১। 900 m উঁচু হতে একটি বস্তু অভিকর্ষের টানে নিচে পড়ছে, কোথায় তার গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হবে ?

ধরা যাক, বস্তুর ভর $= m$

ভূমি হতে x উচ্চতায় গতিশক্তি E_k, বিভব শক্তি E_p এর দ্বিগুণ হবে। অর্থাৎ $E_k = 2E_p$

এখন x উচ্চতায় বিভব শক্তি, $E_p = mgx$

প্রশ্নানুসারে, $E_k = 2 \times mgx$

900 m উচ্চতায় বস্তুর মোট শক্তি $= mgH = mg \times 900 = 900\ mg$

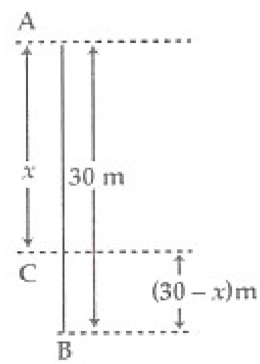
শক্তির নিত্যতা সূত্রানুযায়ী x উচ্চতায় বিভব শক্তি + গতিশক্তি = মোট শক্তি

$\therefore \quad mgx + 2mgx = 900\ mg$

বা, $3mgx = 900\ mg$

$\therefore \quad x = \frac{900}{3} = 300\ \text{m}$

২। 30 m উচ্চতা থেকে একটি বস্তুকে বিনা বাধায় পড়তে দিলে কোথায় উহার গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হবে ? [ঢা. বো. ২০১১ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১০; য. বো. ২০০৬ (মান ভিন্ন) ; ব. বো. ২০০৩]



এখানে,

$h = 30$ m

আদিবেগ, $v_0 = 0$

ত্বরণ $= g$

ধরি, 30 m উচ্চতা হতে x m নিচে এর গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হবে। ধরি C বিন্দুতে বেগ v।

C বিন্দুতে অর্থাৎ, $(30 - x)$ m উচ্চতায় বিভব শক্তি, $E_1 = mg(30 - x) \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$

এবং ঐ উচ্চতায় বস্তুর গতিশক্তি,

$E_2 = \frac{1}{2} mv^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

এখন, $v^2 = 0 + 2gx$;

$v^2 = 2gx \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$

v^2-এর মান সমীকরণ (2)-এ বসিয়ে,

$E_2 = \frac{1}{2} m.2gx = mgx$

প্রশ্নমতে, $2E_1 = E_2$

বা, $2mg(30 - x) = mgx$

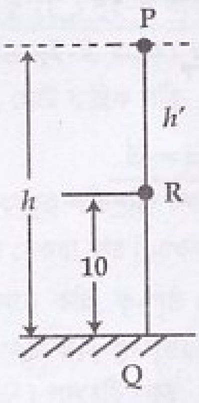
বা, $2mg \times 30 - 2mgx = mgx$

বা, $2mg \times 30 = 3\ mgx$

বা, $x = \frac{60}{3} = 20\,\text{m}$

$\therefore$ ভূমি হতে $(30 - 20) = 10$ m উচ্চতায় গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ।

৩। একটি বস্তুকে নির্দিষ্ট উচ্চতা থেকে ফেলে দেয়া হলো। ভূমি হতে 10m উচ্চতায় গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুণ হলে কত উচ্চতা থেকে বস্তুটি ফেলা হয়েছিল ? [য. বো. ২০০৬]



মনে করি, P বিন্দু হতে m ভরের বস্তুটিকে ফেলা হলো এবং R বিন্দুতে

বস্তুটির গতিশক্তি $= 2 \times$ বিভব শক্তি

R বিন্দুতে বিভব শক্তি, $E_p = mgx$

$= mg \times 10 = 10\, mg$ ... ... (1)

ধরা যাক, R বিন্দুতে বস্তুটির বেগ $= v$।

আমরা জানি, $v^2 = v_0^2 + 2gh'$

বা, $v^2 = 2g(h - x)$ $[\because v_0 = 0]$

$= 2g(h - 10)$

R বিন্দুতে গতিশক্তি, $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \times 2g(h - 10)$

$= mg(h - 10)$

প্রশ্নানুসারে, $mg(h - 10) = 2 \times 10\, mg = 20\, mg$ ... ... (2)

$\therefore \quad h - 10 = 20$

বা, $h = 20 + 10 = 30$m

উত্তর : উচ্চতা, 30m.

সরল ছন্দিত গতির শক্তি
Energy of Simple Harmonic Motion

সরল দোলকের গতি হলো সরল ছন্দিত গতি। সরল দোলক যখন দুলতে থাকে তখন কখনো দোলকের গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে, আবার কখনো দোলকের স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু প্রতি মুহূর্তে দোলকের গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল ধ্রুব থাকে।

মনে করি, সরল দোলকের ববের ভর m এবং সাম্যাবস্থা 0। দোলায়মান অবস্থার সাম্যাবস্থা থেকে কোনো এক দিকে A দূরত্ব অতিক্রম করে সর্বোচ্চ বিন্দু B তে পৌছলে [চিত্র ৫.২৫] B বিন্দুতে বেগ $v = 0$ বলে সকল শক্তি বিভব শক্তি। সরল দোলকের উপর ক্রিয়ারত বল F হলে $F = -kx$। অতএব সর্বোচ্চ বিন্দু B তে বিভব শক্তি

$$E_p = \int_0^A -F\,dx = \int_0^A k\,x\,dx$$

$$= k\left[\frac{x^2}{2}\right]_0^A = \frac{1}{2}kA^2$$

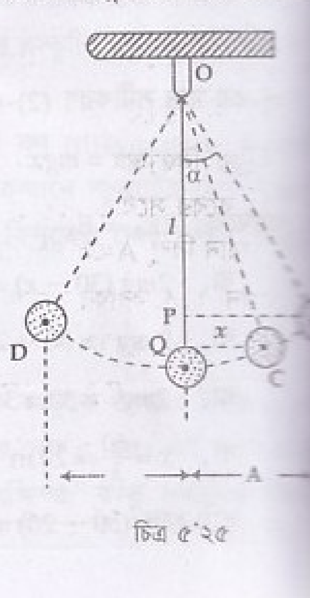
আমরা জানি,

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad \therefore\ k = \omega^2 m$$

$$\therefore\ E_p = \frac{1}{2} \times m\omega^2 A^2$$

যেহেতু B বিন্দুর গতিশক্তি $E_x = 0$ অতএব B বিন্দুতে ববের মোট শক্তি

$$E_k = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.33)$$



চিত্র ৫.২৫

যেহেতু B বিন্দুতে গতিশক্তি $E_{k_B} = 0$ অতএব B বিন্দুতে মোট শক্তি

$$E_k = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.34)$$

এখন ধরা যাক, একটি বব B বিন্দু থেকে সাম্যাবস্থায় 0 এর দিকে যাত্রা করে কোনো এক সময় C বিন্দুতে পৌঁছান। সাম্যাবস্থান হতে C এর দূরত্ব x এবং এর ববের বেগ v হলে C বিন্দুর গতিশক্তি $E_{k_C} = \frac{1}{2} mv^2$

কিন্তু সরল ছন্দিত গতির ক্ষেত্রে বেগ

$$v = \omega\sqrt{A^2 - x^2};$$

অতএব $$E_{k_C} = \frac{1}{2} m\omega^2 (A^2 - x^2) \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.35)$$

C বিন্দুতে ববের কিছু বিভব শক্তি থাকবে। যার পরিমাণ

$$\begin{aligned} E_{p_c} &= \int_0^x k\, x dx \\ &= k\left[\frac{x^2}{2}\right]_0^x = \frac{1}{2} kx^2 \\ &= \frac{1}{2} m\omega^2 x^2 \quad [\because k = m\omega^2] \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.36) \end{aligned}$$

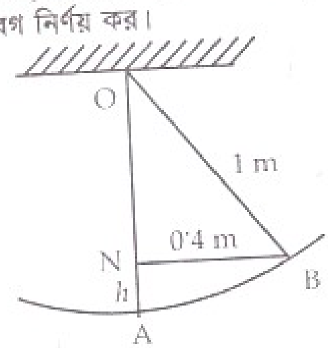
C বিন্দুতে মোট শক্তি

$$\begin{aligned} E_k &= E_{k_C} + E_{p_C} \\ &= \frac{1}{2} m\omega^2 (A^2 - x^2) + \frac{1}{2} m\omega^2 x^2 \\ &= \frac{1}{2} m\omega^2 (A^2 - x^2 + x^2) \\ \boxed{E_k \;= \frac{1}{2} m\omega^2 A^2} &\qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.37) \end{aligned}$$

মন্তব্য : উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, B ও C বিন্দুর মোট শক্তি একই। অর্থাৎ দোলায়মান একটি সরল দোলক 'শক্তির নিত্যতার সূত্র' মেনে চলে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সরল দোলকের ববের ভর 0·2 kg ও কার্যকর দৈর্ঘ্য 1 m। উল্লম্ব রেখা হতে 0·4 m দূরে টেনে ছেড়ে দিলে গতিপথের সাম্যাবস্থান অতিক্রম কালে ববের গতিশক্তি ও বেগ নির্ণয় কর।



এখানে,
ববের ভর, $m = 0{\cdot}2$ kg
সর্বোচ্চ বিন্দু B = 0·4 m
সাম্যাবস্থায় A = 0

ধরি নির্ণেয় বেগ $= v$

শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসারে, O বিন্দু হতে ঝুলন্ত ববের সর্বোচ্চ বিন্দু B-তে স্থিতিশক্তি = সাম্যাবস্থান বিন্দু A-তে গতিশক্তি

এখন, OA বরাবর সর্বোচ্চ উল্লম্ব সরণ

$$\begin{aligned} AN &= OA - ON \\ &= OA - \sqrt{OB^2 - NB^2} \\ &= 1 - \sqrt{(1)^2 - (0{\cdot}4)^2} \\ &= 0{\cdot}083 \text{ m} \end{aligned}$$

এখন, সর্বোচ্চ বিন্দুতে স্থিতিশক্তি $= mgh$

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$
$$= 0.2 \times 9.8 \times 0.083$$
$$= 0.163 \text{ J}$$

আবার,

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.083}$$
$$= 1.275 \text{ ms}^{-1}$$

৫.৯ ক্ষমতা, বল ও বেগ

Power, Force and Velocity

ক্ষমতা : বল প্রয়োগে কোনো যন্ত্র বা বস্তু গতির পরিবর্তন ঘটালে ঐ যন্ত্র বা বস্তুকে আমরা কাজ ব ক্ষমতা আছে বলে ধরে নেই। বলের ক্রিয়ায় বস্তুর সরণ দ্রুত না ধীরে কীভাবে সম্পন্ন হয়েছে কাজের পরিমাণ তা বুঝা যায় না, ক্ষমতা দ্বারা বুঝা যায়। একক সময়ে কী পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয় তাই ক্ষমতা।

কোনো একটি উৎসের কাজ করার হারকে ক্ষমতা বলে এবং একক সময়ের কৃত কাজ দ্বারা ক্ষ পরিমাপ করা হয়।

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো ব্যক্তি বা উৎস t সময়ে W পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে।

∴ একক সময়ের কৃত কাজ বা ক্ষমতা,

$$\boxed{P = \frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}} = \frac{W}{t}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5.38)$$

কাজ সম্পাদনের হার সুষম না হলে তাৎক্ষণিক ক্ষমতা

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

$\vec{F}$ পরিমিত একটি ধ্রুব বল কোনো কণার উপর dt সময় ক্রিয়া করে $d\vec{r}$ সরণ ঘটালে, ঐ ধ্রুব বল কর্ত কৃত কাজ, $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$

ক্ষমতা একটি স্কেলার রাশি। ক্ষমতা কেবলমাত্র কাজের মোট পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, কত সময়ে কাজ করা হলো তার উপর নির্ভর করে। কম সময়ে একই কাজ করলে ক্ষমতা বেশি হয়।

যেমন, একটি যন্ত্র 4 ঘণ্টায় 2000 জুল কাজ করে। অপর একটি যন্ত্র 6 ঘণ্টায় 2400 জুল কাজ কলে। প্র যন্ত্রটির ক্ষমতা = 2000/4 = 500 জুল/ঘণ্টা। দ্বিতীয় যন্ত্রটির ক্ষমতা 2400/6 = 400 জুল/ঘণ্টা। সুতরাং যদিও প্র যন্ত্রটির দ্বারা কাজ দ্বিতীয় যন্ত্র অপেক্ষা কম, কিন্তু প্রথম যন্ত্রটির ক্ষমতা বেশি।

ক্ষমতার একক (Unit of power)

ক্ষমতার সংজ্ঞা হতে এর একক বের করা যায়।

$$\text{ক্ষমতা} = \frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}} = \frac{\text{জুল}}{\text{সেকেন্ড}} = \text{জুল /সেকেন্ড } (\text{Js}^{-1})$$

মাত্রা : $[P] = [ML^2T^{-3}]$

এস. আই. বা আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে ক্ষমতার একক **জুল/সে. বা ওয়াট (watt)**। **এক সেকেন্ডে এক জু কাজ করার ক্ষমতাকে এক জুল/সে. বা এক ওয়াট বলে।**

"কোনো যন্ত্রের ক্ষমতা 50 জুল/সে।"—উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝি **যন্ত্রটি প্রতি সেকেন্ডে 50 জুল কাজ করা** পারে।

ওয়াট অপেক্ষা বড় মানের আরও একটি একক ক্ষমতা প্রকাশের জন্য ব্যবহৃত হয়। এর নাম কিলোওয় (K. W.)।

অশ্ব-ক্ষমতা : প্রতি সেকেন্ডে 746 জুল কাজ করার ক্ষমতাকে এক অশ্ব-ক্ষমতা বলে।

$\therefore$ 1 অশ্ব-ক্ষমতা = 746 জুল/সে = 746 ওয়াট (Watt)।

বৈদ্যুতিক ব্যবহারিক একক : ক্ষমতার বৈদ্যুতিক ব্যবহারিক একককে ওয়াট (Watt) বলে। 'ওয়াট' পরিমাপের আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতেও ক্ষমতার একক।

$\therefore$ 1 ওয়াট = 1 জুল/সে

$\therefore$ 1 কিলোওয়াট = 1000 ওয়াট। অর্থাৎ কিলোওয়াট ওয়াট অপেক্ষা এক হাজার গুণ বড়। আধুনিক কালে কিলোওয়াট অপেক্ষা হাজার গুণ বড় অর্থাৎ ওয়াট অপেক্ষা দশ লক্ষ গুণ বড় ক্ষমতার আর একটি একক ব্যবহৃত হচ্ছে। এর নাম মেগাওয়াট (Mega watt)।

$\therefore$ 1 মেগাওয়াট (MW) = 1000 কিলোওয়াট

= 10^6 ওয়াট = 10^6 জুল/সে।

'কোনো বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রের ক্ষমতা 2 মেগাওয়াট'। এর অর্থ—কেন্দ্রের সরবরাহকৃত বিদ্যুৎ শক্তি দ্বারা প্রতি সেকেন্ডে 2×10^6 জুল বা 2 মেগা-জুল কাজ করা যায়।

ক্ষমতার মাত্রা সমীকরণ (Dimension of power)

আমরা জানি, ক্ষমতা, $P = \frac{W}{t} = \frac{\text{বল} \times \text{সরণ}}{\text{সময়}}$

$\therefore$ ক্ষমতার মাত্রা সমীকরণ, $[P] = \frac{[\text{বল}]\,[\text{সরণ}]}{[\text{সময়}]}$

$$= \left[\frac{MLT^{-2} \times L}{T}\right] = [ML^2T^{-3}]$$

ক্ষমতা, বল ও বেগের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between Power, Force and Velocity

মনে করি, কোনো বস্তুর উপর F বল t সময় ধরে ক্রিয়া করল। এই সময়ে যদি বস্তুটি প্রযুক্ত বলের অভিমুখে s দূরত্ব সরে যায়, তবে ঐ বল দ্বারা কাজ, $W = F \times s$

আবার ক্ষমতা, $P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv$ ... ... (5.39)

$$\left[\because s = \frac{v}{t}\right]$$

অতএব ক্ষমতা = প্রযুক্ত বল $\times$ বস্তুর বেগ

বস্তুর সরণ প্রযুক্ত বলের অভিমুখে না হয়ে যদি এর সঙ্গে θ কোণে ক্রিয়াশীল হয়, তবে

$P = Fv\cos\theta$ ... ... (5.40)

এই সমীকরণ দুটি ভেক্টরের স্কেলার গুণফল বোঝায়।

$\therefore$ ভেক্টর চিহ্ন অনুযায়ী $P = \vec{F}.\vec{v}$ ... ... (5.41)

এই সমীকরণ ক্ষমতা, বল ও বেগের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

আবর্ত ঘূর্ণন গতির ক্ষেত্রে ক্ষমতা :

আবর্ত গতির ক্ষেত্রে আমরা জানি, কাজ, W = টর্ক $\times$ কৌণিক সরণ।

$\therefore$ ক্ষমতা, $P = \frac{W}{t} = \frac{\text{টর্ক} \times \text{কৌণিক সরণ}}{\text{সময়}}$

$\therefore$ ক্ষমতা, P = টর্ক $\times$ কৌণিক বেগ

গাণিতিক উদাহরণ

১। 300 kg ভরের একটি পাথরকে ক্রেনের সাহায্যে $0{\cdot}1\ ms^{-1}$ বেগে ছাদের উপরে উঠাতে ক্রেনের ক শক্তি ব্যয় করতে হবে ?

আমরা জানি,

$$P = Fv = 2940 \times 0{\cdot}1 = 294{\cdot}0\ W$$

এখানে,

$m = 300$ kg

$F = 300\ kg \times 9{\cdot}8\ ms^{-2} = 2940\ N$

পরীক্ষণ : তোমরা কয়েকজন মিলে স্কুলের তিন তলা পর্যন্ত সিড়ির সংখ্যা নির্ণয় কর। প্রতিটি সিড়ির উচ্চতা স্কেলে সাহায্যে গণনা কর। এক তলা হতে তিন তলায় উঠতে কত সময় লাগবে তার সময় নির্ণয় কর। তোমার ভরা অভিকর্ষজ ত্বরণের মান দ্বারা গুণ করে তোমার ওজন নির্ণয় কর। তাহলে সম্পাদিত কাজ হবে তোমার ওজন × মে উচ্চতা। এবার মোট কাজকে সময় দিয়ে ভাগ কর তাহলে তোমার ক্ষমতা পেয়ে যাবে।

৫·১০ সংরক্ষণশীল এবং অসংরক্ষণশীল বল
Conservative and Non-conservative Force

বল দুই প্রকার; যথা— (১) সংরক্ষণশীল বল এবং (২) অসংরক্ষণশীল বল।

সংরক্ষণশীল বল
Conservative Force

যে বল কোনো বস্তুর উপর ক্রিয়া করলে তাকে যে কোনো পথে ঘুরিয়ে পুনরায় প্রাথমিক অবস্থানে আনলে বল কর্তৃক কাজ শূন্য হয় তাকে সংরক্ষণশীল বল বলে। উদাহরণ—অভিকর্ষীয় বল, বৈদ্যুতিক বল আদর্শ স্প্রিং-এর বিকৃতি প্রতিরোধী বল প্রভৃতি।

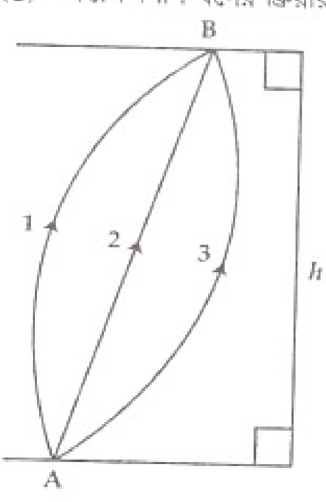
সংরক্ষণশীল বলের বৈশিষ্ট্য : (০৫ – ০৮)

(১) এই বল শুধু অবস্থানের উপর নির্ভর করে।

(২) সংরক্ষণশীল বল দ্বারা কৃত কাজ সম্পূর্ণভাবে পুনরুদ্ধার করা যায়।

(৩) একটি বস্তুকে এক স্থান হতে অন্য স্থানে স্থানান্তরে কাজ পথের উপর নির্ভর করে না; কেবল বস্তুর আদি ও চূড়ান্ত অবস্থানের উপর নির্ভর করে।

(৪) সংরক্ষণশীল বলের ক্রিয়ায় যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতার সূত্র পালিত হয়।



চিত্র ৫·২৬

ধরি m ভরের একটি বস্তুকে A বিন্দু হতে উপরে উঠি B বিন্দুতে স্থাপন করা হলো এবং এতে বস্তুটির উল্লম্ব সরণ হলো [চিত্র ৫·২৬]। এই স্থানান্তর 1নং, 2নং বা 3নং পথে হলে প্রত্যেক পথের সকল বিন্দুতে অভিকর্ষীয় বল mg খাড়া নিচে দিকে ক্রিয়া করে এবং প্রত্যেক পথে অভিকর্ষীয় বলের ক্রিয়া রে বরাবর বস্তুর সরণ h। এই তিন পথের প্রত্যেক পথে কাজে পরিমাণ সমান এবং কাজ $W = -\,mgh$।

আবার বস্তুটিকে A বিন্দু হতে 1নং পথে B বিন্দুতে এ পুনরায় তাকে B বিন্দু হতে A বিন্দুতে স্থানান্তর করলে, প্র স্থানান্তরে অভিকর্ষীয় বলের বিপরীত দিকে সরণ $= h$ ও কা $W_1 = -\,mgh$ এবং দ্বিতীয় স্থানান্তরে অভিকর্ষীয় বলের অভিমু সরণ $= h$ ও কাজ $W_2 = mgh$.

$\therefore$ মোট কৃত কাজ, $W_2 + W_1 = mgh + (-\,mgh) =$

কাজেই অভিকর্ষীয় বল সংরক্ষণশীল বল এবং এই বল কর্তৃক কাজ পুনরুদ্ধার করা সম্ভব সংরক্ষণশীল বলের বৈশিষ্ট্য অনুসারে এর আর একটি সংজ্ঞা দেয়া যায়। যেমন **যে বলের ক্রিয়ায় কোনো বস্তুকে এক বিন্দু হতে অপর কোনো বিন্দুতে নিয়ে যেতে ঐ বল কর্তৃক কাজ শুধু বিন্দুদ্বয়ের অবস্থানের উপর নির্ভর করে—পথের উপর নির্ভর করে না তাকে সংরক্ষণশীল বল বলে।**

অসংরক্ষণশীল বল

Non-conservative Force

যে বল কোনো বস্তুর উপর ক্রিয়া করলে তাকে যে কোনো পথে ঘুরিয়ে পুনরায় প্রাথমিক অবস্থানে আনলে ঐ বল কর্তৃক কাজ শূন্য হয় না তাকে অসংরক্ষণশীল বল বলে। উদাহরণ—ঘর্ষণ বল, সান্দ্র বল প্রভৃতি।

অসংরক্ষণশীল বলের বৈশিষ্ট্য :

(১) এই বল শুধু অবস্থানের উপর নির্ভর করে না।

(২) একটি বস্তুকে এক স্থান থেকে আরেক স্থানে স্থানান্তরে কাজ পথের উপর নির্ভর করে।

(৩) অসংরক্ষণশীল বল দ্বারা কাজ সম্পূর্ণরূপে পুনরুদ্ধার করা যায় না।

(৪) অসংরক্ষণশীল বলের ক্রিয়ায় যান্ত্রিক সূত্রের নিত্যতার সূত্র সংরক্ষিত হয় না।

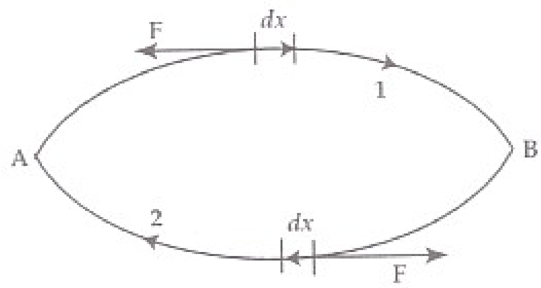
ধরি একটি বস্তুকে মসৃণ অনুভূমিক মেঝের উপর দিয়ে ঠেলে A বিন্দু হতে 1নং পথে B বিন্দুতে আনা হলো [চিত্র ৫'২৭]। এই ক্ষেত্রে ঘর্ষণ বল বস্তুর গতি অভিমুখের বিপরীতে ক্রিয়া করবে। কাজেই এই স্থানান্তরে ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হবে; কারণ ঘর্ষণ বল সর্বদাই গতিপ্রতিরোধী বল। গতিপথে একটি ক্ষুদ্র সরণ dx এবং এই সরণ গড় F ঘর্ষণ বলের বিপরীতে সংঘটিত হলে, কাজ $W = -Fdx$।

$\therefore$ 1নং পথে A হতে B পর্যন্ত নিতে মোট কৃত কাজ এরূপ ছোট ছোট কাজের সমষ্টির সমান ও মোট কাজ, $W_1 = -\int_1 Fdx$।

এখন যদি বস্তুটিকে B হতে 2নং পথে পুনরায় A বিন্দুতে নিয়ে যাওয়া হয় তবে এই ক্ষেত্রেও ঘর্ষণ বল বস্তুর গতিপথের বিপরীতে ক্রিয়া করবে।

কাজেই এই ক্ষেত্রেও কাজ,

$$W_2 = -\int_2 Fdx.$$



চিত্র ৫'২৭

উভয় ক্ষেত্রে কাজ ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে হওয়ায় উভয় কাজ ঋণাত্মক এবং তাদের যোগফল শূন্য হবে না।

অর্থাৎ $W_1 + W_2 = -\int_1 Fdx - \int_2 Fdx \neq 0$

কাজেই ঘর্ষণ বল কর্তৃক কাজ পুনরুদ্ধার করা সম্ভব নয়। অতএব ঘর্ষণ বল অসংরক্ষণশীল বল।

সংরক্ষণশীল ও অসংরক্ষণশীল বল ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী দেখানো যায় যে,

কোনো বস্তুকে অভিকর্ষ বল F-এর বিরুদ্ধে মাটি হতে h উপরে তুলতে কাজের পরিমাণ $= -Fh$। এখন তাকে সেখান থেকে ছেড়ে দিলে মাটিতে ফিরে আসতে অভিকর্ষ বল দ্বারা কাজের পরিমাণ হবে $+Fh$.

সুতরাং বস্তুর মাটি হতে উপরে উঠার পর আবার মাটিতে ফিরে আসতে অভিকর্ষ বল দ্বারা কাজের পরিমাণ $(-Fh + Fh)$ শূন্য হবে। সুতরাং অভিকর্ষ বা মাধ্যাকর্ষণ বল সংরক্ষণশীল বল। তেমনি বিদ্যুৎ বল, চৌম্বক বল ইত্যাদি সংরক্ষণশীল বল।

অপর পক্ষে, ঘর্ষণের ক্ষেত্রে, ঘর্ষণ বল বস্তুকে চলতে বাধা দেয়। সেজন্যে এর দ্বারা বস্তুর উপর কাজ ঋণ হয়। অতএব ঘর্ষণ বল হলো অসংরক্ষণশীল বল।

৫'১১ কর্মদক্ষতা

Efficiency

আমরা যখন কোনো যন্ত্র বা বস্তু থেকে কাজ পাই তা ঐ যন্ত্র বা বস্তুকে কর্মক্ষম করার জন্য সরবরাহকৃত শক্তি অপেক্ষা কম। কেবল যন্ত্রের ক্ষেত্রেই নয়, বাস্তব জীবনের অনেক ক্ষেত্রেই যে শক্তি প্রয়োগ করা হয় তার অংশ বিশেষ কাজে লাগে। বাকী অংশ অপচয় হয়। ইঞ্জিনের ক্ষেত্রে এই অপচয় হওয়া শক্তি ব্যয় হয় চাকার ঘর্ষণ, ইঞ্জিন গরম হওয়া ইত্যাদি কাজে। এ অপচয় সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করা যায় না, তবে বিভিন্ন প্রযুক্তি ব্যবহারের মাধ্যমে এই অপচয় হ্রাস করা যায়। এক্ষেত্রে শক্তির সমীকরণ হলো প্রদত্ত শক্তি = লভ্য কার্যকর শক্তি + অন্যভাবে ব্যয়িত শক্তি।

সংজ্ঞা : কোনো যন্ত্রে সরবরাহকৃত শক্তি এবং কাজে পরিণত হওয়ার শক্তির অনুপাতকে কর্মদক্ষতা

অর্থাৎ কর্মদক্ষতা, $\eta = \dfrac{\text{কার্যকর শক্তি}}{\text{মোট সরবরাহকৃত শক্তি}}$

কর্মদক্ষতাকে শতকরা হিসেবে প্রকাশ করা যায়।

মনে করি, কোনো যন্ত্রে E_1 পরিমাণ শক্তি প্রদান করা হলো এবং E_2 পরিমাণ শক্তির অপচয় ঘটল। কর্মদক্ষতা

$$\eta = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) \times 100\% \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.$$

কোনো যন্ত্রেরই কর্মদক্ষতা 100% পাওয়া যায় না। কোনো যন্ত্রের কর্মদক্ষতা 80% বলতে বুঝায় 10(শক্তি সরবরাহ করলে তার মাত্র 80 একক শক্তি কাজে লাগবে, বাকী 20 একক শক্তি অপচয় হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 270 kg ভরের একটি বোঝা একটি ক্রেনের সাহায্যে 0·1 ms⁻¹ বেগে উঠানো হলো। ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times s}{t} = Fv$$

$$= mgv \quad [\because F = mg]$$

$$\therefore P = 270 \times 9{\cdot}8 \times 0{\cdot}1 \text{ W}$$

$$= 264{\cdot}6 \text{ W}$$

এখানে,
ভর, $m = 270$ kg
বেগ, $v = 0{\cdot}1$ ms^{-1}
$g = 9{\cdot}8$ ms^{-2}
ক্ষমতা, $P = ?$

২। 900 kg ভরের একটি লিফট 350 kg ভরের বোঝাসহ 100 s-এ নিচতলা থেকে 18 তলায় উপরে ওঠে। কৃত কাজ ও প্রযুক্ত ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

কৃত কাজ, $W = mgh$

$$\therefore W = 1250 \times 9{\cdot}8 \times 75$$

$$= 9{\cdot}187 \times 10^5 \text{ J}$$

আবার, ক্ষমতা, $P = \dfrac{W}{t}$

$$\therefore P = \frac{9{\cdot}187 \times 10^5}{100}$$

$$= 9{\cdot}187 \times 10^3 = 9{\cdot}187 \text{ kW}$$

এখানে,
মোট ভর, $m = 900 + 350 = 1$2
উচ্চতা, $h = 75$ m
সময়, $t = 100$ s
$g = 9{\cdot}8$ ms^{-2}
$W = ?$
$P = ?$

৩। 3430 W ক্ষমতাসম্পন্ন একটি মটর চালিত পাম্প দ্বারা একটি কূপ হতে গড়ে 7·20 m উচ্চতা উঠানো হয়। মটরের দক্ষতা 90% হলে প্রতি মিনিটে কত কিলোগ্রাম পানি ওঠে ? [ব. বো.

ধরি নির্ণেয় ভর = m kg

প্রশ্নানুযায়ী মটরের কার্যকর ক্ষমতা $= \eta \times P = \dfrac{90}{100} \times 3430 \text{ W} = 3087 \text{ W}$

প্রতি মিনিটে প্রাপ্ত কাজ, $W = mg \times h = (m \times 9{\cdot}8) \times 7{\cdot}20$ J

$\therefore$ কার্যকর ক্ষমতা, $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{m \times 9{\cdot}8 \times 7{\cdot}20}{60}$ W

শর্তানুযায়ী, $\dfrac{m \times 9{\cdot}8 \times 7{\cdot}20}{60} = 3087$

$$\therefore m = \frac{3087 \times 60}{9{\cdot}8 \times 7{\cdot}20} = 2625 \text{ kg}$$

এখানে, $P = 3430$ W
$\eta = 90\% = 90/10$(
$g = 9{\cdot}8$ ms^{-2}
$h = 7{\cdot}20$ m
$t = 1$ মিনিট = 60

৪। একটি কূয়া থেকে ইঞ্জিনের সাহায্যে প্রতি মিনিটে 1000 kg পানি 10 m গড় উচ্চতায় উঠানো হয়। ইঞ্জিনটির ক্ষমতা 40% নষ্ট হয়, তাহলে এর অশ্বক্ষমতা নির্ণয় কর। [সি. বো. ২০০৮; ব. বো. ২০০৫]

আমরা জানি, কার্যকর ক্ষমতা, $P' = \dfrac{P \times 60}{100}$

$\therefore \quad P = \dfrac{P' \times 100}{60}$

এক্ষেত্রে ইঞ্জিনটির ক্ষমতা 40% নষ্ট হওয়াতে কার্যকর ক্ষমতা $= (100 - 40)\,\% = 60\%$

$\therefore \quad P = \dfrac{mgh \times 100}{60 \times t} = \dfrac{1000 \times 9{\cdot}8 \times 10 \times 100}{60 \times 60}$

বা, $P = 2{\cdot}7222 \times 10^3$ watt

বা, $P = \dfrac{2{\cdot}7222 \times 10^3}{746}$ H.P. $= 3{\cdot}65$ H.P.

$\therefore \quad P = 3{\cdot}65$ H.P.

এখানে,

$P' = \dfrac{mgh}{t}$

$m = 1000$ kg

$g = 9{\cdot}8$ ms^{-2}

$h = 10$ m

$t = 60$ s

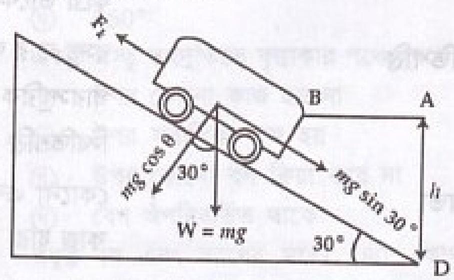
উচ্চতর দক্ষতাভিত্তিক নমুনার গাণিতিক উদাহরণ

১। একজন ড্রাইভার 1000 kg ভরের একটি ট্রাক মাটির সাথে 30° কোণে একটি আনত তলের উপর 25 ms^{-1} বেগে চালাচ্ছিল। সামনে 50 m দূরে এক বালককে দেখে ট্রাকটি থেমে গেল। এক্ষেত্রে সংরক্ষণশীলতার নীতি পালিত হবে কী?— ব্যাখ্যা কর। [ধর ঘর্ষণ বল = 11150 N]

মনে করি, ট্রাকটি B বিন্দু হতে 50 m অতিক্রম করে D বিন্দুতে থেমে যায়। তাহলে B হতে D বিন্দুর উল্লম্ব দূরত্ব AD

$\therefore \sin 30° = \dfrac{h}{50}$ বা, $\dfrac{1}{2} = \dfrac{h}{50}$ বা, $h = \dfrac{50}{2} = 25$ m

B বিন্দুতে ট্রাকটি ভূমি হতে 25 m উচ্চতায় অবস্থিত।



চিত্র ৫.২৮

B বিন্দুতে ট্রাকটির মোট শক্তি = গতিশক্তি + বিভব শক্তি

$= \dfrac{1}{2} m v_B^2 + mgh$

$= \dfrac{1}{2} \times 1000 \times (25)^2 + 1000 \times 9{\cdot}8 \times 25$

$= 500 \times (25)^2 + 25000 \times 9{\cdot}8$

$= 312500 + 245000 = 557500$ J

এখানে,

$m = 1000$ kg

$\theta = 30°$

$s = 50$ m

শেষ বেগ, $v = 0$

B বিন্দুতে ট্রাকটির বেগ, $v_B = 25$ ms^{-1}

ঘর্ষণ বল = 11150 N

D বিন্দুতে গাড়িটির বেগ = 0, গতিশক্তি = 0, বিভব শক্তি = 0

$\therefore$ ঘর্ষণ বলের জন্য শক্তির রূপান্তর = D বিন্দুতে গাড়িটিকে থামাতে প্রয়োজনীয় শক্তি

= ঘর্ষণ বল × সরণ $= F_k \times s = 11150 \times 50 = 557500$ J

$\therefore$ D বিন্দুতে গাড়িটির মোট শক্তি $= 557500 + 0 + 0 = 557500$ J

$\therefore$ B বিন্দুতে গাড়িটির মোট শক্তি = D বিন্দুতে গাড়িটির মোট মক্তি। কাজেই গাড়িটি সংরক্ষণশীলতার নীতি মেনে চলে।

সার-সংক্ষেপ

কাজ	: কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগে বস্তুর সরণ ঘটলে প্রযুক্ত বল ও বলের অভিমুখে সরণের উপাংশের গুণফলকে কাজ বলে।
কাজের একক	: কাজের একক নিউটন-মিটার বা জুল।
শক্তি	: কাজ করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে।
স্থিতিস্থাপক বল	: স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বাইরে থেকে বল প্রয়োগে কোনো বস্তুর আকার-আকৃতির পরিবর্তন ঘটালে বল অপসারণ করলে যে বলের কারণে তা আবার পূর্বের আকার আকৃতি ফিরে পায় তাকে স্থিতিস্থাপক বল বলে।
ধনাত্মক কাজ	: বলের দ্বারা কৃত কাজকে ধনাত্মক কাজ বলে।
ঋণাত্মক কাজ	: বলের বিপরীতে কৃত কাজকে ঋণাত্মক কাজ বলে।
কাজহীন বল	: বস্তুর সরণের লম্বদিকে ক্রিয়াশীল বল বস্তুর সরণের সময় কোনো কাজ করে না। এ ধরনের বলকে কাজহীন বল বলে।
অভিকর্ষ বল	: ভূ-পৃষ্ঠের উপর বা নিকটে অবস্থিত প্রতিটি বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে অভিকর্ষ বল বলে।
গতিশক্তি	: কোনো গতিশীল বস্তু তার গতির জন্য কাজ করার যে সামর্থ্য বা শক্তি লাভ করে তাকে বস্তুটির গতিশক্তি বলে।
স্থিতিশক্তি	: বস্তু তার অবস্থানের কারণে যে শক্তি অর্জন করে অথবা বস্তুস্থিত কণাসমূহের পারস্পরিক অবস্থানের পরিবর্তনের জন্য যে শক্তি অর্জন করে তাকে বস্তুর স্থিতিশক্তি বলে।
ক্ষমতা	: কোনো একটি উৎসের কাজ করার হারকে ক্ষমতা বলে। একক সময়ের কৃত কাজ দ্বারা ক্ষমতা পরিমাপ করা হয়।
ক্ষমতার একক	: ক্ষমতার একক জুল/সে. (J/s)।
1 ওয়াট	: এক সেকেন্ডে এক জুল কাজ করার ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে।
1 অশ্ব ক্ষমতা	: প্রতি সেকেন্ডে 746 জুল কাজ করার ক্ষমতাকে এক অশ্ব ক্ষমতা বলে।
সংরক্ষণশীল বল	: যে বল কোনো বস্তুর উপর ক্রিয়া করলে তাকে যে কোনো পথে ঘুরিয়ে পুনরায় প্রাথমিক অবস্থানে আনলে বল কর্তৃক কৃত কাজ শূন্য হয় তাকে সংরক্ষণশীল বল বলে।
অসংরক্ষণশীল বল	: কোনো বলের ক্রিয়া অভিমুখ যদি বস্তুর গতি অভিমুখের উপর নির্ভর করে তবে ঐ বল অসংরক্ষণশীল বলে।
কর্মক্ষমতা	: কোনো যন্ত্রে সরবরাহকৃত শক্তি এবং কাজে পরিণত হওয়ার শক্তিকে কর্মক্ষমতা বলে।
যান্ত্রিক শক্তির সংরক্ষণ নীতি	: শক্তি অবিনশ্বর, শক্তি সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না। এক রূপ হতে অন্য রূপে রূপান্তরিত করা যায়। বস্তুর গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে এবং স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয় মাত্র। বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তি সব সময় ধ্রুব থাকে। একে যান্ত্রিক শক্তির সংরক্ষণ নীতি বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

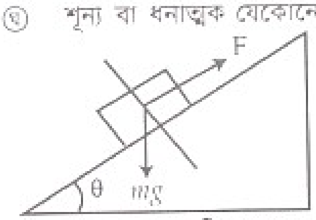
১। প্রযুক্ত বল এবং সরণের দিক পরস্পর বিপরীত দিকে হলে কৃত কাজ কেমন হবে ?
ⓚ ধনাত্মক
ⓛ ঋণাত্মক
ⓜ শূন্য
ⓝ সর্বাধিক

২। প্রযুক্ত বল এবং সরণের মধ্যবর্তী কোণ শূন্য হলে কৃত কাজ কেমন হবে ?
ⓚ ধনাত্মক
ⓛ ঋণাত্মক
ⓜ শূন্য
ⓝ সর্বনিম্ন

৩। কাজের মান সবচেয়ে বেশি হবে যখন বল ও সরণের মধ্যে কোণের মান—
(i) $0°$
(ii) $90°$
(iii) $360°$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i
ⓛ ii
ⓜ iii
ⓝ i ও iii

৪। $90° < \theta \le 180°$ হলে বলের দ্বারা কৃত কাজ—
ⓚ ঋণাত্মক হবে
ⓛ ধনাত্মক হবে
ⓜ কোনো কাজ হবে না
ⓝ শূন্য বা ধনাত্মক যেকোনোটি হতে পারে

৫।



চিত্রে F বলের প্রভাবে ব্লকটি আনত তল বেয়ে উপরের দিকে উঠছে। এখানে কোন বলের বিরুদ্ধে কাজ হয়েছে?
ⓚ F
ⓛ mg
ⓜ $mg \sin \theta$
ⓝ $mg \cos \theta$

৬। নিচের কোনটি ভুল ?
ⓚ বলের দ্বারা কাজ হলে স্থিতিশক্তি হ্রাস পায়
ⓛ বলের দ্বারা কাজ হলে গতিশক্তি হ্রাস পায়
ⓜ বলের বিরুদ্ধে কাজ হলে স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পায়
ⓝ বলের বিরুদ্ধে কাজ হলে গতিশক্তি হ্রাস পায়

৭। θ এর মানের ক্ষেত্রে—
(i) $0° \le \theta \ge 90°$ হলে বলের দ্বারা কাজ সম্পন্ন হবে
(ii) $90° < \theta \le 135°$ হলে বলের বিরুদ্ধে কাজ সম্পন্ন হবে
(iii) $135° \le \theta \le 180°$ হলে ঋণাত্মক কাজ সম্পন্ন হবে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓜ ii ও iii
ⓝ i, ii ও iii

৮। কাজের মান শূন্য হবে যদি প্রযুক্তি বল ও সরণের মধ্যবর্তী কোণ—
ⓚ $90°$
ⓛ $180°$
ⓜ $0°$
ⓝ $360°$

৯। একটি বস্তু সমদ্রুতিতে বৃত্তাকার পথে ঘুরলে এর—
ⓚ উপর কোনো কাজ হয় না
ⓛ উপর সর্বাধিক কাজ হয়
ⓜ উপর কোনো বল ক্রিয়া করে না
ⓝ বেগ অপরিবর্তিত থাকে

১০। প্রযুক্ত বল এবং সরণের মধ্যে $180°$ কোণ হলে কাজ কেমন হবে ?
ⓚ ঋণাত্মক
ⓛ ধনাত্মক
ⓜ শূন্য
ⓝ অসীম

১১। কাজ ও শক্তির ক্ষেত্রে—
(i) কাজ করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে
(ii) কোনো বস্তুর উপর ক্রিয়ারত লব্ধি বলের কৃত কাজ বস্তুর গতি শক্তির পার্থক্যের সমান
(iii) কাজ ও শক্তির মাত্রা ও একক অভিন্ন
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓜ ii ও iii
ⓝ i, ii ও iii

১২। শক্তির একক—
(i) জুল
(ii) kgm^2s^{-2}
(iii) ইলেকট্রন ভোল্ট
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১৩। 30 m উচ্চতা থেকে একটি বস্তুকে বিনা বাধায় পড়তে দিলে কোন উচ্চতায় বস্তুটির গতিশক্তি বিভবশক্তির দ্বিগুণ হবে ?
ⓚ 10 m উচ্চতায়
ⓚ 15 m উচ্চতায়
ⓖ 25 m উচ্চতায়
ⓖ 28 m উচ্চতায়

১৪। একটি হাল্কা ও একটি ভারী বস্তুর ভরবেগ একই, কোনটির গতিশক্তি বেশি?
(i) হাল্কা বস্তুটির
(ii) ভারী বস্তুটির
(iii) উভয়ের সমান
নিচের কোনটি সঠিক?
ⓚ i
ⓚ ii
ⓖ iii
ⓖ i, ii ও iii

১৫। 50 kg ভরের একটি বস্তুর ভরবেগ $50\ kgms^{-1}$ হলে এর গতিশক্তি হবে—
ⓚ 100 J
ⓚ 25 J
ⓖ 2500 J
ⓖ 50 J

১৬। একটি রাইফেলের গুলির বেগ যদি দ্বিগুণ করা হয় তাহলে এর গতিশক্তি হবে—
ⓚ 2 গুণ
ⓚ 3 গুণ
ⓖ 4 গুণ
ⓖ 6 গুণ

১৭। গতিশক্তি 4 গুণ বৃদ্ধি পেলে ভরবেগ কত হবে?
(i) 2 গুণ
(ii) 3 গুণ
(iii) 4 গুণ
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i
ⓚ iii
ⓖ i ও iii
ⓖ ii ও iii

১৮। রৈখিক ভরবেগ 50% বাড়ালে গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়—
ⓚ 25%
ⓚ 50%
ⓖ 100%
ⓖ 125%

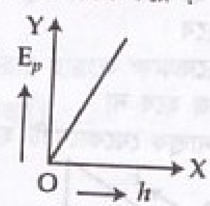
১৯। একটি ভারী বস্তু ও একটি হালকা বস্তুর গতি সমান, কোনটির ভরবেগ বেশি?
ⓚ হাল্কা বস্তুর
ⓚ ভারী বস্তুর
ⓖ উভয়ের সমান
ⓖ ভরবেগ শূন্য

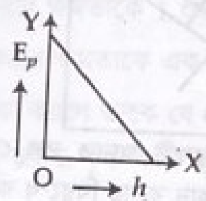
২০। একটি বস্তুর গতিশক্তি ধ্রুব হলে কোনটি ধ্রুব হবে?
ⓚ দ্রুতি
ⓚ অবস্থান
ⓖ ভরবেগ
ⓖ ত্বরণ

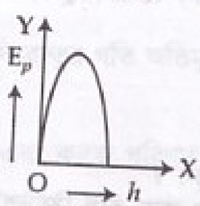
২১। ওয়াট ও অশ্ব ক্ষমতার মধ্যে সম্পর্ক হলো—
ⓚ 1 H.P. = 746 W
ⓚ 1 H.P. = $3{\cdot}4 \times 10^5$ W
ⓖ 1 H.P. = 550 W
ⓖ 1 H.P. = 946 W

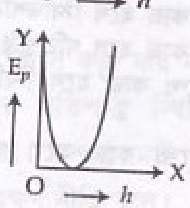
২২। একটি রাইফেলের গুলি নির্দিষ্ট পুরুত্বের এক তক্তা ভেদ করতে পারে। ঐরূপ 16টি তক্তা ভে করতে গুলির বেগ কতগুণ হতে হবে ?
ⓚ 16
ⓚ 4
ⓖ 32
ⓖ 8

২৩। একটি বস্তুকে খাড়াভাবে উপরের দিকে ছুঁড়ে দেওয়া হলো। কোন গ্রাফটি ভূমি হতে উচ্চতা 'h'-এর সাপেক্ষে বস্তুটির বিভবশক্তি E_p-এর পরিবর্তন নির্দেশ করে ? [ঢা. বো. ২০১৫]

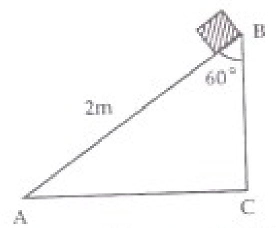
ⓚ 

ⓚ 

ⓖ 

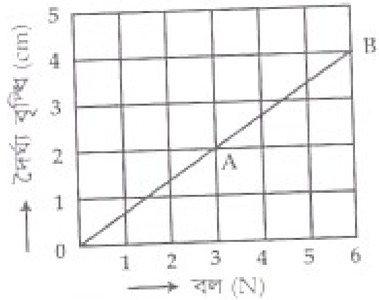
ⓖ 

২৪।



চিত্রে 100 kg ভরের ব্লকটি AB তল বরাবর নিচে পড়ল। কৃত কাজের পরিমাণ কত ?

ক) 100 J
খ) 200 J
গ) 980 J
ঘ) 1960 J



লেখচিত্রটিতে একটি স্প্রিং-এ প্রযুক্ত বলের সাথে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

২৫। Nm^{-1} এককে স্প্রিং ধ্রুবক কত ?

ক) 2
খ) 200
গ) 0·5
ঘ) 18

২৬। স্প্রিংটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি 3 cm হলে স্প্রিং-এ সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ কত ?

ক) 0·09 J
খ) 0·18 J
গ) 9 J
ঘ) 18 J

২৭। সার্কাসে মোটর সাইকেল চালক r ব্যাসার্ধের উল্লম্ব বৃত্তে ঘুরছে; সর্বোচ্চ বিন্দুতে বেগ সর্বনিম্ন কত হলে সে পড়ে যাবে না ?

ক) $\sqrt{\frac{1}{2}gr}$
খ) $\sqrt{gr}$
গ) $\sqrt{3gr}$
ঘ) $\sqrt{5gr}$

২৮। একটি বস্তুকে খাড়া উপরের দিকে নিক্ষেপ করলে—

(i) সর্বাধিক উচ্চতায় বিভব শক্তি সর্বোচ্চ
(ii) সর্বাধিক উচ্চতায় গতিশক্তি সর্বোচ্চ
(iii) মোট শক্তি সর্বত্র সমান

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক) i ও ii
খ) i ও iii
গ) ii ও iii
ঘ) i, ii ও iii

২৯। কোনটি ক্ষমতার একক ?

ক) জুল
খ) নিউটন-মিটার
গ) ওয়াট
ঘ) ইলেকট্রন ভোল্ট

৩০। m ভরের একটি বস্তু h উচ্চতা থেকে ভূমিতে এসে পড়ল। ভূমি স্পর্শ করার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে বস্তুটির গতিশক্তি কত ?

ক) 0
খ) $\frac{1}{2}mv^2 - mgh$
গ) mgh
ঘ) $mgh - \frac{1}{2}mv^2$

৩১। ক্ষমতা P, বল F ও বেগ v-এর মধ্যে সম্পর্ক হলো—

ক) $P = \frac{F}{v}$
খ) $F = \frac{P}{v^2}$
গ) $P = Fv$
ঘ) $v = PF$

৩২। ML^2T^{-3} হলো—

(i) ভরবেগের মাত্রা
(ii) একক সময়ে কৃত কাজের মাত্রা
(iii) একক সময়ে ব্যয়িত শক্তির মাত্রা

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক) i ও ii
খ) i ও iii
গ) ii ও iii
ঘ) i, ii ও iii

৩৩। কেন্দ্রমুখী বল দ্বারা কৃত কাজ—

ক) অসীম
খ) ধনাত্মক
গ) শূন্য
ঘ) ঋণাত্মক

৩৪। অসংরক্ষণশীল বল—

(i) সান্দ্র বল
(ii) মাধ্যাকর্ষণ বল
(iii) বিদ্যুৎ বল

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক) i
খ) i ও ii
গ) ii ও iii
ঘ) i, ii ও iii

৩৫। কোনো প্রক্রিয়ায় মোট প্রদত্ত শক্তি E_{in}-এর একটি অংশ কার্যকর শক্তি u-তে রূপান্তরিত হয় এবং বাকী শক্তি w অপচয় হয়। প্রক্রিয়াটির দক্ষতা কত ?

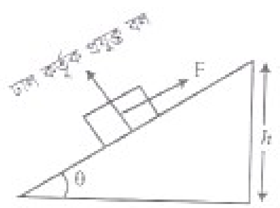
ক $\frac{u-w}{E_{in}} \times 100\%$

খ $\frac{w}{E_{in}} \times 100\%$

গ $\frac{u}{E_{in}} \times 100\%$

ঘ $\frac{u+w}{E_{in}} \times 100\%$

উদ্দীপকটি পড়ে পরবর্তী দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও :
চিত্রে অনুভূমিকের সাথে θ কোণে আনত একটি ঘর্ষণবিহীন ঢালে একটি m kg ভরের বক্সকে দেখানো হলো।



বক্সটিকে ঢালের উপরের দিকে ধ্রুববেগে গতিশীল করতে এর উপর ঢালের সমান্তরালে F বল প্রয়োগ করা হলো।

৩৬। বক্সটিকে ঢালের উপরের দিকে 'x' m অতিক্রম করার জন্য কত কাজ করতে হবে ?

[ঢা. বো. ২০

ক $mgx \sin\theta$

খ $mgh \cos\theta$

গ $mgx \cos\theta$

ঘ $mgh \sin\theta$

৩৭। এখন যদি বক্সটিকে 'v' বেগে গতিশীল র জন্য বলের দিকে 'a' ত্বরণ সৃষ্টি করতে তবে কত ক্ষমতা প্রয়োগ করতে হবে ?

[ঢা. বো. ২০

ক $mgv + mav \sin\theta$

খ $mav + mgv \sin\theta$

গ $mav + mgv \cos\theta$

ঘ $mgv + mav \cos\theta$

উত্তর :

১। খ	২। ক	৩। ঘ	৪। ক	৫। গ	৬। খ	৭। ঘ	৮। ক	৯। ক	১০। ক
১১। ঘ	১২। ঘ	১৩। ক	১৪। ক	১৫। খ	১৬। গ	১৭। ক	১৮। ঘ	১৯। খ	২০। ক
২১। ক	২২। খ	২৩। ক	২৪। গ	২৫। খ	২৬। ক	২৭। খ	২৮। খ	২৯। গ	৩০। গ
৩১। গ	৩২। গ	৩৩। গ	৩৪। ক	৩৫। গ	৩৬। গ	৩৭। গ			

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। এক ব্যক্তি 30 m উচ্চতাবিশিষ্ট একটি বিল্ডিংয়ের ছাদ থেকে m ভরের একটি বস্তুকে নিচে ফেলে দি ধরা যাক বস্তুটি বাধাহীনভাবে নিচে পড়ল।

(ক) গতিশক্তি কী ?

(খ) সংরক্ষণশীল বলকে কী কী বৈশিষ্ট্যের দ্বারা অসংরক্ষণশীল বল থেকে আলাদা করা যায় ?

(গ) বস্তুটির ভর 20 g হলে ভূ-পৃষ্ঠ স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে এর গতিশক্তি কত হবে ?

(ঘ) উদ্দীপকে বস্তুটি যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা মেনে চলে কী ? যুক্তি উপস্থাপন করে ব্যাখ্যা কর।

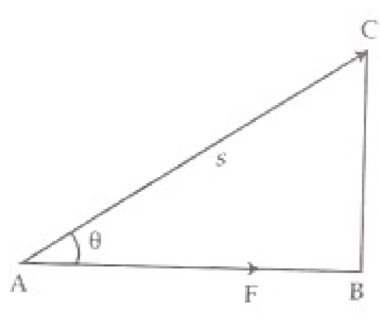
২। A বিন্দুতে কোনো বস্তুর ওপর AB অভিমুখে F পরিমাণ বল প্রয়োগ করায় বস্তুটি বলের অভিমুখের সাথে θ কে উৎপন্ন করে s পরিমাণ দূরত্বে সরে C বিন্দুতে পৌঁছাল।

(ক) অসংরক্ষণশীল বল কী ?

(খ) বলের দ্বারা কাজ বলতে কী বুঝায় ?

(গ) F = 20 N, s = 50 m এবং কৃত কাজের পরিমাণ 500 J হলে F ও s এর অন্তর্ভুক্ত কোণ নির্ণয় কর।

(ঘ) θ এর মান কীরূপ হলে বলের দ্বারা কাজ ও বলের বিরুদ্ধে কাজ হয়—বিশ্লেষণ কর।



৩। নিতু মেলা থেকে স্প্রিং লাগানো একটি খেলনা গাড়ি কিনে আনল। স্প্রিং-এ দম দিয়ে সে গাড়িটি ছেড়ে দিল এবং গাড়িটি কিছুদূর গিয়ে থেমে গেল।

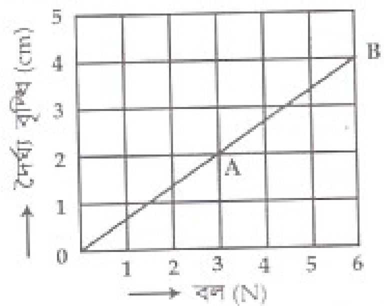
(ক) স্প্রিং ধ্রুবক কী ?

(খ) স্প্রিং-এ দম দিলে গাড়িটি চলে কেন ব্যাখ্যা কর।

(গ) উল্লম্বভাবে ঝুলন্ত একটি স্প্রিং-এর নিচের প্রান্তে 500 g ভর যুক্ত করায় স্প্রিংটির দৈর্ঘ্য 0.15 m বৃদ্ধি পেল। সঞ্চিত স্থিতিশক্তির পরিমাণ বের কর।

(ঘ) স্প্রিং-এ সঞ্চিত স্থিতিস্থাপক বিভব শক্তির রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

৪।



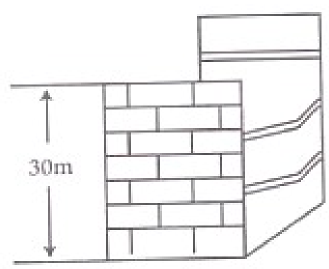
(ক) স্প্রিং ধ্রুবকের একক কী ?

(খ) SI এককে স্প্রিংটির স্প্রিং ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(গ) স্প্রিংটি হুকের সূত্র মেনে চলে কী ? ব্যাখ্যা কর এবং প্রদত্ত উপাত্ত হতে প্রমাণ কর।

(ঘ) স্প্রিংটিকে A অবস্থান হতে B অবস্থানে প্রসারিত করতে সঞ্চিত স্থিতিশক্তির পরিমাণ কত হবে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে বের কর।

৫। লোহাগড়া আদর্শ কলেজের বিজ্ঞান বিভাগের ছাত্র রাফি তার কলেজের 30 m উচ্চতাবিশিষ্ট সাইন্স বিল্ডিংয়ের ছাদ থেকে কৌতুহলবশত 1 kg ভরের একটি পাথর নিচে ফেলে দিল। পাথরটি নিচে পড়াকালীন তার শক্তির নিত্যতার সূত্র স্মরণ হলো।



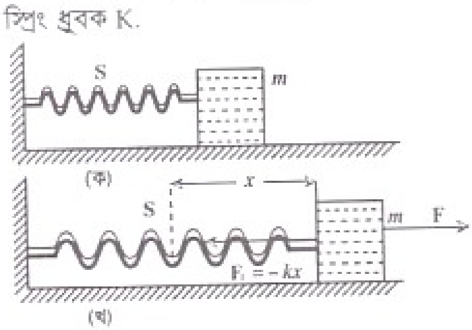
(ক) বিভব শক্তি কী ?

(খ) বলের বিরুদ্ধে কাজ বলতে কী বুঝায় ?

(গ) ভূমি থেকে কত উচ্চতায় পাথরের বিভবশক্তি এর গতিশক্তির দ্বিগুণ ?

(ঘ) রাফি কীভাবে শক্তির নিত্যতার সূত্র প্রমাণ করবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৬। চিত্রে স্প্রিং প্রসারণে সম্পাদিত কাজ দেখানো হয়েছে। এখানে স্প্রিং ধ্রুবক K.



(ক) সংরক্ষণশীল বল কী ?

(খ) কাজ-শক্তি উপপাদ্যটি ব্যাখ্যা কর।

(গ) একটি স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবক 60 Nm^{-1}। স্প্রিংটিকে স্বাভাবিক অবস্থা থেকে 0.5 m প্রসারিত করতে কৃত কাজ হিসাব কর।

(ঘ) স্প্রিং প্রসারণে কৃত কাজের রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

(গ) কাঠামোবদ্ধ ও রচনামূলক প্রশ্ন

১। কাজ বলতে কী বুঝ? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

২। ভেক্টর সমীকরণ ব্যবহার করে কাজের সংজ্ঞা দাও।

৩। কাজের মাত্রা ও একক লিখ।

৪। জুল কাকে বলে?

৫। বলের দ্বারা কাজ ও বলের বিরুদ্ধে কাজ বলতে কী বুঝ?

৬। শক্তির সংজ্ঞা দাও।

৭। শক্তির রূপান্তর বলতে কী বুঝ?

৮। শক্তির একক ও মাত্রা লিখ।

৯। স্থির বল দ্বারা কৃত কাজের রাশিমালা নির্ণয় কর।

১০। পরিবর্তনশীল বল দ্বারা কৃত কাজের রাশিমালা নির্ণয় কর।

১১। বল–সরণ লেখচিত্রের সাহায্যে পরিবর্তনশীল বল কর্তৃক কৃত কাজের রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

১২। একটি স্প্রিং-এ বলের বিপরীতে কাজের রাশিমালা বের কর।

১৩। গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি বলতে কী বুঝ? উদাহরণ দাও।

১৪। m ভরের একটি বস্তু v বেগে গতিশীল হলে এর গতিশক্তি নির্ণয় কর।

১৫। গতিশক্তির সাথে ভরবেগের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

১৬। কাজ-শক্তি উপপাদ্য বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

১৭। কোন সমীকরণ বল, ক্ষমতা ও বেগের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে?

১৮। অভিকর্ষীয় বিভব বা স্থিতিশক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

১৯। একটি স্প্রিং-এর সংকোচন ও প্রসারণের জন্য বিভব শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

২০। শক্তির নিত্যতা সূত্র বিবৃত কর।

২১। একটি উদাহরণ দাও যা শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে।

২২। প্রমাণ কর যে সর্বাধিক উচ্চতায় উৎক্ষিপ্ত একটি বস্তু শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে।

২৩। দেখাও যে দোলায়মান একটি সরল দোলক শক্তির নিত্যতার সূত্র মেনে চলে।

২৪। ক্ষমতা কাকে বলে?

২৫। ক্ষমতার একক ও মাত্রা লিখ।

২৬। কোনো যন্ত্রের ক্ষমতা 50 জুল/সে. বলতে কী বুঝ?

২৭। অশ্ব ক্ষমতা ও ওয়াটের সম্পর্ক লিখ।

২৮। সংরক্ষণশীল বল বলতে কী বুঝ?

২৯। অসংরক্ষণশীল বল কাকে বলে?

৩০। অভিকর্ষীয় বল সংরক্ষণশীল বল—প্রমাণ কর।

৩১। কর্মদক্ষতা বলতে কী বুঝ? এর একক লিখ।

৩২। একটি হাল্কা বস্তু ও একটি ভারী বস্তুর ভরবেগ সমান। কোনটির গতিশক্তি বেশি ?

৩৩। একটি হাল্কা বস্তু এবং একটি ভারী বস্তুর গতিশক্তি সমান। কোনটির ভরবেগ বেশি ?

৩৪। অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি কেবলমাত্র h-এর উপর নির্ভর করে; কিন্তু পথের উপর নির্ভর করে না কেন ? —ব্যাখ্যা কর।

৩৫। ক্ষমতা, বল ও বেগের মধ্যে সম্পর্কটি লিখ।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

প্রতিবেদন রচনা : এই অধ্যায়ের শুরুতে অর্থাৎ অধ্যায়ের শিরোনামের নিচে চারটি চিত্র দেওয়া আছে। এখানে চারটি চিত্রে চার ধরনের কাজ বুঝানো হয়েছে। প্রত্যেকটি কাজের উপর একটি করে প্রতিবেদন তৈরি কর।
শিক্ষক সবচেয়ে ভালো প্রতিবেদন নির্বাচন করে শ্রেণিকক্ষে উপস্থাপন করতে বলবেন।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 50 N বল কোনো স্প্রিংকে টেনে 20 cm বৃদ্ধি করে। স্প্রিংকে 8 cm প্রসারিত করলে কত কাজ সম্পন্ন হবে? [উ. 0.8...

২। একটি কণার উপর $\vec{F} = (6\hat{i} - 3\hat{j} + 2\hat{k})$ N বল প্রয়োগ করলে কণাটির $\vec{r} = (2\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k})$ m সরণ হয়। বল দ্বারা সম্পাদিত কাজের পরিমাণ বের কর। [উ. 4...

৩। 200 N এর বল প্রয়োগ করে কোনো বস্তুকে বলের অভিমুখে 300 m সরানো হলে কত কৃতকাজ সম্পন্ন হবে বের কর। [উ. 6 × ...

৪। 250 N ওজনের একজন বালক খাড়া মই বেয়ে শীর্ষে উঠতে 2000 J কাজ সম্পন্ন করে। মইটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 8...

৫। একটি বরফ খণ্ডকে দড়ির সাহায্যে সম্পূর্ণ অনুভূমিক তলের উপর 5 m দূরত্ব টেনে আনা হলো। দড়ির টান 10 N এবং দড়িটি উক্ত তলের সাথে 30° কোণে থাকলে কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [উ. 43...

৬। 40 kg ভরের একটি ট্রলি 180J গতিশক্তিসহ একটি মসৃণ অনুভূমিক রাস্তায় চলাকালে এর মধ্যে 20 kg ভরের একটি বস্তু খাড়াভাবে নামিয়ে দিলে মোট গতিশক্তি কত হবে ? [উ. 120...

৭। 2 kg ভরের একটি হাতুড়ি দেয়ালের সাথে অভিলম্বভাবে রক্ষিত একটি পেরেককে কত বেগে অনুভূমিকভাবে আঘাত করলে পেরেকটি 640 N বল প্রতিরোধ করে দেয়ালের ভিতর 0.025 m ঢুকে যাবে? [উ. 4...

৮। 1 J গতিশক্তির একটি বস্তুর গতির বিপরীতে 1N বল প্রয়োগে বস্তুটি কতদূর অগ্রসর হয়ে থেমে যাবে? [উ. 1...

৯। একটি রাইফেলের গুলি নির্দিষ্ট পুরুত্বের একটি তক্তা ভেদ করতে পারে। ঐরূপ 16টি তক্তা ভেদ করতে হলে এর বেগ কতগুণ হতে হবে? [উ. 4...

১০। 10 kg ভরবিশিষ্ট একটি বন্দুক হতে গুলি ছুড়লে গুলিটি 80 cms^{-1} বেগে নির্গত হয়। গুলির ভর 40 g হলে গুলি ও বন্দুকের গতিশক্তি নির্ণয় কর। [উ. 0.0128 J, 51 × ...

১১। 3.6 kg ভরের একটি বন্দুক হতে 365 J গতিশক্তি উৎপন্ন করে 0.05 kg ভরের একটি বুলেট কত বেগে নিক্ষিপ্ত হবে? [উ. 120 ms^{-1}]

১২। একটি সরল দোলকের ববের ভর 0.2 kg ও কার্যকরী দৈর্ঘ্য 1.2 m। উল্লম্ব রেখা হতে 0.2 m দূরে টেনে ছেড়ে দিলে গতিপথের সর্বনিম্ন বিন্দু অতিক্রমের সময় ববের গতিশক্তি ও বেগ নির্ণয় কর। [উ. 0.0392 J; 0.626 ms^{-1}]

১৩। 10 kg ভরের একটি কণার বেগ $(7\hat{i}-6\hat{j}+5\hat{k})$ ms^{-1} হলে এর গতিশক্তি কত হবে? [উ. 550 J]

১৪। 300 m উঁচু হতে একটি বস্তু অভিকর্ষের টানে মুক্তভাবে নিচে পড়লে কোথায় তার গতিশক্তি স্থিতিশক্তির অর্ধেক হবে? [উ. 100m নিচে]

১৫। একটি নিউট্রনের ভর 1.67×10^{-27} kg এবং এটি 4×10^4 ms^{-1} বেগে গতিশীল। এর গতিশক্তি নির্ণয় কর। [উ. 1.28×10^{-18} J]

১৬। 200 g ভরের একটি বস্তু 10 m উপর থেকে নিচে পড়ে যায়। ভূ-পৃষ্ঠ স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে এর গতিশক্তি কত? [উ. 19.6 J]

১৭। দেখাও যে, অভিকর্ষের টানে মুক্তভাবে পড়ন্ত ভরের একটি বস্তুর t-তম সেকেন্ডে হারানো স্থিতিশক্তি বা অর্জিত গতিশক্তি $\frac{1}{2}mg^2(2t-1)$-এর সমান।

১৮। 500g ভরবিশিষ্ট কোনো বস্তু একটি জাহাজের উপর হতে 10m নিচে পানিতে পড়ল। (i) বস্তুটির প্রাথমিক স্থিতিশক্তি; (ii) বস্তুটির সর্বোচ্চ গতিশক্তি; (iii) বস্তুটি যে বেগ নিয়ে পানির তলকে স্পর্শ করে এবং (iv) পানি হতে 3 মিটার উপরে গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি নির্ণয় কর। [উ. (i) 49 J; (ii) 49 J; (iii) 1.4 ms^{-1}; (iv) 34.3 J]

১৯। 2 kg ভরের একটি বস্তু 5 m উঁচু হতে মাটিতে পড়ে। এতে অভিকর্ষ বল বস্তুর উপর কত কাজ করে ও বস্তুটি কত স্থিতিশক্তি হারায়? [উ. 98 J; 98 J]

২০। 2 kg ভরের একটি বস্তু কত উচ্চতা হতে অভিকর্ষের টানে পড়ে মাটিতে আঘাত করার পূর্ব মুহূর্তে 2401 J গতিশক্তি লাভ করে? [উ. 122.5 m]

২১। 746 W ক্ষমতার একটি পাম্প প্রতি মিনিটে কী পরিমাণ পানি 10 m উচ্চতায় উপরে উঠাতে পারবে? [উ. 456.7 kg]

২২। 70 kg ভরের একজন লোক প্রতিটি 15 cm উঁচু 30টি সিঁড়ি 20 s-এ উঠতে পারেন। লোকটির ক্ষমতা কত? [উ. 154.3 W]

২৩। 1200 kg ভরের একটি গাড়ির ইঞ্জিনের ক্ষমতা 134.05 HP ও কর্মদক্ষতা 90%। গাড়িকে স্থিরাবস্থা থেকে 30 ms^{-1} বেগে আনতে ন্যূনতম কত সময় লাগবে? [1 H.P. = 0.746 kW] [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০-১১]

২৪। 6 kg ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু স্থির অবস্থায় ছিল। 30 N বল প্রয়োগ করায় 10 s পর বস্তুটির গতিশক্তি কত হবে? [উ. 7500 J]

২৫। 1×10^3 kg ভরের একটি মোটর গাড়ি 70 Kmh^{-1} বেগে চলছে। একই গতিশক্তি সম্পন্ন হতে হলে 300 kg ভরের একটি মোটর সাইকেলকে কত বেগে চলতে হবে? [উ. 99 kmh^{-1}]

২৬। 0.50 kg ভরের একটি বোমা ভূমি হতে 1 km উঁচুতে অবস্থিত একটি বিমান থেকে ফেলে দেয়া হলো। ভূমি স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে এর গতিশক্তি নির্ণয় কর। [উ. 4.9×10^3 J]

২৭। 0.50 kg ভরের একটি পাথরকে 15 ms^{-1} বেগে খাড়া উপরের দিকে নিক্ষেপ করা হলো। (i) সর্বোচ্চ উচ্চতায় পাথরের গতিশক্তি নির্ণয় কর। (ii) পাথরটি আবার ভূমিতে ফিরে এলে তার গতিশক্তি কত হবে? [উ. 384.16 J; 1152.48 J]

২৮। একটি পানিপূর্ণ কূয়ার গভীরতা 12 m এবং ব্যাস 1.8 m। একটি পাম্প 24 মিনিটে কুয়াটিকে পানিশূন্য করতে পারে। পাম্পটির অশ্ব ক্ষমতা কত? [উ. 1.67 H.P]

২৯। 270 kg ভরের একটি বোঝা একটি ক্রেনের সাহায্যে 0.1 ms^{-1} ধ্রুব বেগে উঠানো হলো। ক্রেনের কত ক্ষমতা ব্যয় হয়? [উ. 264.6 W]

৩০। একটি মোটর মিনিটে 5.5×10^5 kg পানি 100 m উপরে তুলতে পারে। মোটরটির দক্ষতা 70% হলে এর ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ. 17202.86 H.P.]

৩১। 80% দক্ষতাসম্পন্ন একটি মটর একটি ক্রেন নিয়ন্ত্রণ করে যার দক্ষতা 50%। মটরটি 3.73 kW ক্ষমতা প্রয়োগ করলে ক্রেনে 746 N ওজনের একটি বস্তুর ঊর্ধ্বমুখী গড়বেগ কত হবে? [উ. 2 ms^{-1}]

৩২। 100 m গভীর একটি কূয়া থেকে ইঞ্জিনের সাহায্যে প্রতি মিনিটে 1000 kg পানি উঠানো হয়। যদি ইঞ্জিনটির ক্ষমতা 42% নষ্ট হয়। তাহলে এর অশ্বক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ. 37.75 H. P.]

৩৩। কোনো কূয়া থেকে 20m উপরে পানি তোলার জন্য 6kW এর একটি পাম্প ব্যবহার করা হচ্ছে। পাম্পের দক্ষতা 82.2% হলে প্রতি মিনিটে কত লিটার পানি তোলা যাবে? [উ. 1620 লিটার]

৩৪। একটি পানিপূর্ণ কূয়ার গভীরতা 7.2m ও ব্যাস 4m। 31.4 মিনিটে কূয়াটিকে পানিশূন্য করতে পারে এরূপ একটি বৈদ্যুতিক পাম্পের ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ. 1693.44 W]