কাজ শক্তি ও ক্ষমতা

প্রশ্ন- (১): কাজ, শক্তি ও ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও।

কাজ (Work): কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা হলে যদি বস্তুর সরণ ঘটে তাহলে প্রযুক্ত বল এবং বলের অভিমুখে বস্তুর সরণের উপাংশের গুনফলকে কাজ বলে। কাজ একটি স্কেলার রাশি। এর ব্যবহারিক একক জুল। এর মাত্রা সমীকরণ $\left[ML^2T^{-2}\right]$

শক্তি (Energy): কোন ব্যক্তি, বস্তু বা উৎসের কাজ করার সামর্থকে শক্তি বলে। কোন বস্তু ব্যক্তি বা উৎসের মোট কৃত কাজ দ্বারা শক্তি পরিমাপ করা হয়। শক্তির বিনিময়েকাজ আবার কাজের বিনিময়ে শক্তি পাওয়া যায়। শক্তি এবং কাজের একক ও মাত্রা একই বা অভিন্ন।

ক্ষমতা (Power): কোন ব্যক্তি, বস্তু বা উৎস একক সময়ে যে পরিমাপ কাজ সম্পাদন করে তাকে ক্ষমতা বলে। অর্থ্যৎ একক সময়ে কৃত কাজ দ্বারা ক্ষমতা পরিমাপ করা হয়। ক্ষমতার ব্যবহারিক একক জুল/সে। তবে ইহা ওয়াট (Watt) নামেই পরিচিত। এর মাত্রা সমীকরণ $\left[ML^2T^{-3}\right]$

প্রশ্ন- (২) বলের দ্বারা কাজ বা ধনাত্মক কাজ এবং বলের বিরুদ্ধে কাজ বা ঋনাত্মক কাজ বলতে কি বুঝ? এদের মধ্যে পার্থক্য কর।

বলের দ্বারা কাজ বা ধনাত্মক কাজ (Positive Work): বল প্রয়োগ করার ফলে যদি বলের প্রয়োগ বিন্দু বলের ক্রিয়া অভিমুখে সরে যায় তাহলে সম্পন্ন কাজকে বলের দ্বারা কাজ বা ধনাত্মক কাজ বলে। এক্ষেত্রে বল ও সরণের মধ্যবর্তী কোণ θ হলে এর সীমা হবে $0^\circ \le \theta < 90^\circ$। উদাহরণ স্বরূপ একটি বস্তুকে দালানের ছাদ থেকে ছেড়ে দিলে উহা অভিকর্ষ বলের প্রভাবে মাটিতে পড়বে। এক্ষেত্রে সম্পাদিত কাজ হলো বলের দ্বারা কাজ।

বলের বিরুদ্ধে কাজ বা ঋণাত্মক কাজ (Negative Work): বল প্রয়োগ করার ফলে যদি বলের প্রয়োগ বিন্দু বলের ক্রিয়ার বিপরীত দিকে সরে যায় বা বলের দিকে সরণের ঋণাত্মক উপাংশ থাকে তাহলে সম্পন্ন কাজকে বলের বিরুদ্ধে কাজ বা **ঋণাত্মক** কাজ বলে। এক্ষেত্রে বল ও সরণের মধ্যবর্তী কোণ θ হলে এর সীমা হবে $90^\circ < \theta \le 180^\circ$। উদাহরণ স্বরূপ একটি বস্তুকে মাটি থেকে ছাদে টেনে তুললে অভিকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে কাজ সম্পন্ন হয়।

নিম্নে এই দুই প্রকার কাজের মধ্যে পার্থক্য করা হল।

বলের দ্বারা কাজ	**বলের বিরুদ্ধে কাজ**
১। সংজ্ঞা।	১। সংজ্ঞা
২। ইহা ধনাত্মক কাজ।	২। ইহা ঋনাত্মক কাজ
৩। এই কাজ দ্বারা বস্তুর স্থিতিশক্তিহ্রাস পায়।	৩। এই কাজ দ্বারা বস্তুর স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পায়
৪। এই কাজ দ্বারা বস্তুর গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়।	৪। এই কাজ দ্বারা বস্তুর গতিশক্তিহ্রাস পায়।
৫। বলের দ্বারা কাজে বস্তুতে ত্বরণ সৃষ্টি হয়।	৫। বলের বিরুদ্ধে কজে বস্তুতে মন্দন সৃষ্টি হয়।

প্রশ্ন- (৩): বিভিন্ন পদ্ধতিতে কাজের পরম ও অভিকর্ষীয় একক গুলির নাম লিখ। কাজের পরম এককগুলির সংজ্ঞা দাও। জুল ও আর্গের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

উত্তর: নিম্নে বিভিন্ন পদ্ধতিতে কাজের পরম ও অভিকর্ষীয় একক দেয়া হল:

এককের পদ্ধতি	পরম একক	অভিকর্ষীয় একক
সি. জি. এস	আর্গ	গ্রাম- সে. মি.
এম. কে. এস	জুল	কিলোগ্রাম-মিটার
এফ. পি. এস	ফুট-পাউন্ডাল	ফুট-পাউন্ড

i) আর্গ: W=FS সমীকরণে যদি F=1 ডাইন এবং S=1 সে. মি. হয় তাহলে W=1 আর্গ হবে। অতএব, কোন বস্তুর উপর এক ডাইন বল প্রয়োগের ফলে যদি বলের দিকে সরণের উপাংশ এক সে. মি. হয় তাহলে সম্পন্ন কাজকে এক আর্গ কাজ বলে। অর্থাৎ, এক আর্গ = এক ডাইন × 1 সে. মি।

ii) জুল: ইহা কাজের SI বা ব্যবহারিক একক। যদি F=1N এবং S=1m হয় তাহলে W=1 জুল হবে। অতএব, কোন বস্তুর উপর এক নিউটন বল প্রয়োগের ফলে যদি বলের দিকে সরণের উপাংশ এক মিটার হয় তাহলে সম্পন্ন কাজকে এক জুল বলে। একে j দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অর্থাৎ, $1j = 1N \times 1m$।

iii) ফুট-পাউন্ডাল: কোন বস্তুর উপর এক পাউন্ডাল বল প্রয়োগের ফলে যদি বলের দিকে সরণের উপাংশ এক ফুট হয় তাহলে সম্পন্ন কাজকে এক ফুট-পাউন্ডাল কাজ বলে।

অর্থাৎ, এক ফুট-পাউন্ডাল = 1 পাউন্ডাল × 1 ফুট।

জুল ও আর্গের মধ্যে সম্পর্ক: আমরা জানি,

$$1j = 1N \times 1m$$
$$= 10^5 dyne \times 100 cm$$
$$= 10^7 (1 dyne \times 1 cm)$$
$$\therefore 1j = 10^7 Erg$$

প্রশ্ন- (৪) (ক) : কাজের অভিকর্ষীয় একক গুলির সংজ্ঞা দাও। পরম এককের সথে এদের সম্পর্ক দেখাও।

উত্তরঃ (i) গ্রাম- সে. মিঃ কোন বস্তুর উপর এক গ্রাম-ওজন বল প্রয়োগের ফলে যদি বলের দিকে সরণের উপাংশ এক সে. মি. হয় তাহলে সম্পন্ন কাজকে এক গ্রাম সে. মি কাজ বলে। অর্থ্যাৎ,

1 গ্রাম- সে. মি. = 1 গ্রাম - ওজন ×1 সে. মি.

= 980 ডাইন ×1 সে. মি.

= 980 (1 ডাইন ×1 সে. মি.) = 980 আর্গ

(ii) কিলোগ্রাম- মিটারঃ কোন বস্তুর উপর এক কিলোগ্রাম -ওজন বল প্রয়োগের ফলে যদি বলের দিকে বস্তুর সরণের উপাংশ এক মিটার হয় তাহলে সম্পন্ন কাজকে এক কিলোগ্রাম-মিটার কাজ বলে। অর্থ্যাৎ,

$$1kg-m = 1kg-Wt \times 1m$$
$$= 9.8N \times 1m$$
$$= 9.8(1N \times 1m) = 9.8j$$

(iii) ফুট-পাউন্ডঃ এক ফুট-পাউন্ড = 1 পাউন্ড - ওজন × 1 ফুট

= 32 পাউন্ডাল × 1 ফুট

= 32 (1 পাউন্ডাল × 1 ফুট) = 32 ফুট-পাউন্ডাল

প্রশ্ন- (৪) (খ) : বিভিন্ন পদ্ধতিতে ক্ষমতার একক গুলির নাম লিখ। ওয়াট এবং অশ্ব ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও এবং এদের মধ্যে সম্পর্ক দেখাও।

উত্তরঃ নিম্নে বিভিন্ন পদ্ধতিতে **ক্ষমতার** পরম বা নিরপেক্ষ এবং অভিকর্ষীয় একক গুলি দেওয়া হলঃ

এককের পদ্ধতি	**পরম একক**	**অভিকর্ষীয় একক**
সি.জি. এস	আর্গ/সে.	গ্রাম- সে.মি/সে.
এম. কে. এস	জুল/সে. বা ওয়াট (Watt)	কিলোগ্রাম- মি./সে.
এফ. পি. এস	ফুট-পাউন্ডাল/সে.	ফুট-পাউন্ড/সে.

* ওয়াট (Watt): এক সেকেন্ডে এক জুল কাজ করার **ক্ষমতা** কে এক জুল/সে. বা এক ওয়াট বলে। ইহা ক্ষমতার ব্যবহারিক একক।

* অশ্ব **ক্ষমতা** (Horse Power): ইহা ক্ষমতার যান্ত্রিক ব্যবহারিক একক। ইহা অভিকর্ষীয় এককের অন্তর্ভূক্ত। এক সেকেন্ডে 550 ফুট- পাউন্ড কাজ করার ক্ষমতাকে এক অশ্ব ক্ষমতা বলে। একে সংক্ষেপে H.P দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অশ্বক্ষমতা ও ওয়াটের মধ্যে সম্পর্কঃ আমরা জানি,

$1H.P = 550$ ফুট-পাউন্ড/সে.

= 550×32.2 ফুট-পাউন্ডাল/সে.

বা, $1H.P. = 550 \times 32.2 \times 30.48 \times 13825$ ডাইন-সে.মি/ সে.

$= 746 \times 10^7$ আর্গ/সে

$= 746$ জুল/সে.

অর্থ্যাৎ, $1H.P. = 746\ Watt$

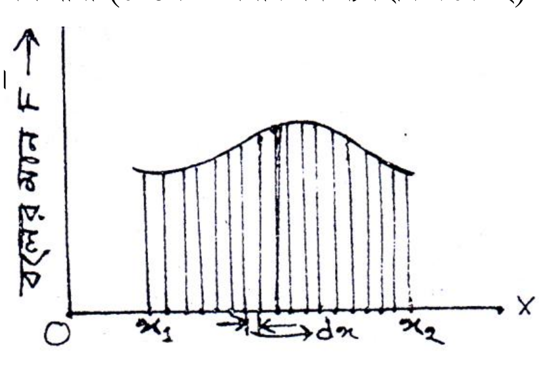
প্রশ্নঃ (৫) বল- সরণ লেখচিত্রের সাহায্যে পরিবর্তনশীল বল কর্তৃক কৃত কাজের রাশিমালা বাহির কর।

অথবা, দেখাও যে, পরিবর্তনশীল বলের দ্বারা কৃত কাজ $w = \int \vec{F}.d\vec{x}$

অথবা, ভেক্টর ও সমাকলনের ব্যবহারে কাজের সংজ্ঞা দাও।

উত্তরঃ আমরা জানি, বল শুধুমাত্র মানের পরিবর্তনে অথবা মান-দিক উভয়ের পরিবর্তনে পরিবর্তিত হতে পারে। যে বলের শুধুমাত্র মান পরিবর্তিত হয় কিন্তু দিকের কোন পরিবর্তন হয় না, সেই পরিবর্তনশীল বল দ্বারা (ভেক্টর ও সমাকলন ব্যবহার করে০২) কাজের রাশিমালা বাহির করব।

মনেকরি, একটি পরিবর্তনশীল বল, $x-$অক্ষের ধনাত্মক দিকে ক্রিয়াশীল। x অক্ষের বিভিন্ন অবস্থানে এর মান বিভিন্ন। এই বল, x অক্ষের x_1 অবস্থানে থাকা একটি বস্তুতে প্রযুক্ত হয়ে বস্তুটিকে x_1 অবস্থান থেকে x_2 অবস্থানে নিয়ে গেল। এতে বস্তুর সরণ = $x_2 - x_1$। এই সরণের মধ্যে বিভিন্ন বিন্দুতে বলের মান বিভিন্ন। এই সরণ $x_2 - x_1$ কে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভাগে বিভক্ত করি।



বলের দিক বা সরণের দিক

চিত্রঃ ১

ধরি প্রতিটি ক্ষুদ্র ভাগের দৈর্ঘ্য $= dx$। $x_2 - x_1$ সরণের মধ্যে বলের মান অসংখ্যবার পরিবর্তিত হলেও dx সরণের মধ্যে বলকে ধ্রুবক গণ্য করা যায়। কোন একটি ক্ষুদ্র সরণের মধ্যে বলের মান F হলে এই ক্ষুদ্র সরণের জন্য কৃত কাজ,

$$dw = Fdx \text{----------------------} (1)$$

সমীকরণ (1) কে সমাকলন করলে বস্তুটিকে x_1 অবস্থান থেকে x_2 অবস্থানে নিয়ে যেতে কাজের মান পাওয়া যাবে। অতএব,

$$w = \int dw = \int_{x_1}^{x_2} Fdx \text{------------------} (2)$$

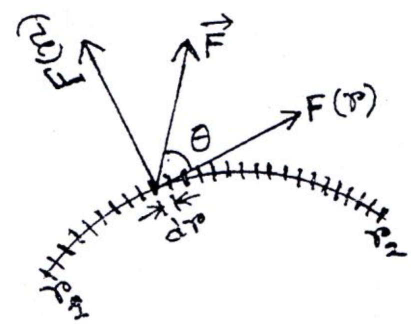
বল F এবং সরণ dx এর মধ্যে কোণ o° বলে আমরা পাই। $\vec{F}.\vec{dx} = Fdx\cos o^\circ = Fdx$

$$w = \int_{x_1}^{x_2} \vec{F}.\overrightarrow{dx} -------------------(3)$$

সমীকরণ (৩)- এ dx যত ক্ষুদ্র হবে হিসাবকৃত কাজ তত সঠিক হবে।

প্রশ্ন- (৬): যখন বলের মান এবং দিক উভয়ই পরিবর্তনশীল সেক্ষেত্রে দেখাও যে, পরিবর্তনশীল বলের দ্বারা কৃত কাজ $w = \int \vec{F}.\overrightarrow{dr}$

অথবা: দ্বি-মাত্রিক ঘটনার ক্ষেত্রে পরিবর্তনশীল বলের দ্বারা কাজের রাশিমালা নির্ণয় কর।



উত্তর: কোন বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল বল যদি একই সাথে মানে ও দিকে পরিবর্তিত হয় তাহলে বস্তুটির সরণ হবে বক্র পথ বরাবর। ধরি এরূপ বল প্রয়োগের ফলে একটি বস্তু r_1 অবস্থান থেকে r_2 অবস্থানে যায়। চিত্র (২)। এই পথকে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভাগে বিভক্ত করা হলো। ধরি প্রতিটি ক্ষুদ্র ভাগের মান $= dr$ । dr সরণের মধ্যে বলকে ধ্রুবক ধরা যায়। ধরি একটি সরন $dr -$ এর শুরুতে বল $\vec{F}.dr$ এর সাথে θ কোণ সৃষ্টি করে। বল F কে দুটি উপাংশে বিভক্ত করা যায়। একটি হলো dr বরাবর $F(r) = F\cos\theta$ এবং অপরটি dr এর সাথে লম্ব বরাবর $F(n) = F\sin\theta$ ।

dr - এর সাথে $F(n)$ লম্ব বলে অর্থাৎ $F(n)$ ও dr এর মধ্যবর্তী কোন $\theta = 90^\circ$ বলে $F(n)$ উপাংশ দ্বারা কোন কাজ সম্পন্ন হবে না। এক্ষেত্রে কাজ সম্পন্ন হবে শুধু $F(r)$ উপাংশ দ্বারা। অতএব, আমরা পাই,

$$dw = F(r) \times dr = F\cos\theta \times dr = Fdr\cos\theta$$

$$\therefore dw = \vec{F}.\overrightarrow{dr} --------------(1)$$

সমীকরণ (১) কে সমাকলন করলে বস্তুটির r_1 অবস্থান থেকে r_2 অবস্থানে সরণের জন্য মোট কৃত কাজ পাওয়া যাবে।

$$\therefore w = \int dw = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F}.\overrightarrow{dr} -----------(2)$$

dr যত ক্ষুদ্রহবে হিসাবকৃত কাজ তত সঠিক হবে।

প্রশ্ন: (৭) একটি স্প্রিং এর সংকোচন বা সম্প্রসারণ জনিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর।

অথবা, একটি স্প্রিং এর সংকোচন বা সম্প্রসারণের জন্য সঞ্চিত স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

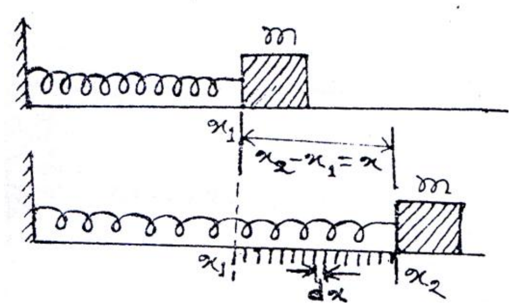
অথবা, স্প্রিং দ্বারা বা স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কৃত কাজের রাশিমালা নির্ণয় কর।

অথবা, পরিবর্তনশীল বল দ্বারা কৃত কাজের একটি বাস্তব উদাহরণ দাও।

ধরি, একটি স্প্রিং এর একপ্রান্ত একটি দেয়ালের সাথে এবং অন্যপ্রান্ত মসৃন অনুভূমিক তলের উপর রক্ষিত m ভরের সাথে আটকানো। মনেকরি m ভরের বস্তুটি প্রতমে x_1 অবস্থানে ছিল। এরপর একে x_2 অবস্থানে নিয়ে যাওয়া হলো। $x_2 - x_1 = x$ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির জন্য বা হ্রাসের জন্য স্প্রিং দ্বারা কাজের রাশিমালা বের করতে হবে।

এখন আমরা জানি, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে স্প্রিংয়ের বল তার দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সমানুপাতিক। F পরিমাণ বল প্রয়োগে যদি স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $= x$ হয় তাহলে আমরা পাই,

$F \propto -x,$ বা $F = -kx$



চিত্রঃ ৩

এখানে k একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে স্প্রিং ধ্রুবক বলে। স্প্রিং এর এই বলের মান $x_2 - x_1$ সরণের মধ্যে সব যায়গায় সমান নয়। তাই এই সরণকে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভাগে বিভক্ত করা হল। ধরি প্রত্যেকটি ক্ষুদ্র ভাগের মান $= dx$ । dx দূরত্বের মধ্যে এই বলকে ধ্রুবক ধরা যায়। অতএব dx সরনের জন্য স্প্রিংয়ের বলের বিরুদ্ধে কাজ, $dw = -Fdx = -(-kxdx)$

$$\therefore dw = kxdx -------(1)$$

সমীকরণ (১) কে সমাকলন করলে স্প্রিংটিকে x_1 থেকে x_2 পর্যন্ত সম্প্রসারণের জন্য মোট কৃত কাজ পাওয়া যাবে। অতএব,

$$w = \int dw = \int_{x_1}^{x_2} kxdx$$

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

বা, $w = \frac{1}{2}k\left(x_2^2 - x_1^2\right) ----------(2)$

সমীকরণ (২) স্প্রিং- এর সম্প্রসারণ বা সংকোচন জনিত কাজের রাশিমালা। ইহাকে স্থিতিস্থাপক বল দ্বারা কৃত কাজের রাশিমালাও বলা হয়। এই কাজ স্প্রিং এর মধ্যে স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে। তাই একে স্প্রিং এর স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তির রাশিমালাও বলা হয়। যদি $x_1 = 0$ বিন্দু হয় তবে $x_2 = x$ হবে। অতএব (২) নং সমীকরণটি দাড়ায়।

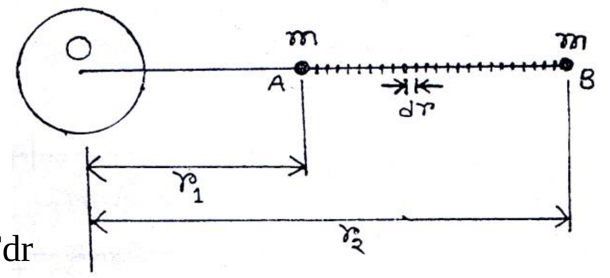
$$w = \frac{1}{2}kx^2 ---------(3)$$

প্রশ্ন- (৮): মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে সম্পাদিত কাজের রাশিমালা বাহির কর।

উত্তরঃ আমরা জানি, একটি বস্তুর ভর $=M$ এবং অন্য একটি বস্তুর ভর $=m$ হলে, এবং বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব $=r$ হলে, মধ্যবর্তী মহাকর্ষীয় বল, $F=\dfrac{GMm}{r^2}$

এখানে G হলো মহাকর্ষীয় ধ্রুবক। চিত্র- (৪)- এ m ভরের বস্তুটি o বিন্দুতে আছে। o বিন্দুথেকে m ভরের বস্তুটি r_1 দূরত্বে A বিন্দুতে অবস্থিত। M ভরের বস্তুটিকে r_1 থেকে r_2 দূরত্বে নিয়ে যেতে কাজের পরিমাণ নির্ণয় করতে হবে।

$r_2 - r_1$ সরণের মধ্যে বিভিন্ন অবস্থানে মহকর্ষীয় বলের মান বিভিন্ন। তাই এই সরনকে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভাগে বিভক্ত করা হলো। ধরি প্রত্যেকটি ক্ষুদ্র ভাগের মান $=dr$ । dr দূরত্বের মধ্যে মহাকর্ষীয় বলকে ধ্রুবক ধরা যায়। ধরি o বিন্দু হতে কোন একটি ক্ষুদ্র সরণের শুরু পর্যন্ত দূরত্ব $=r$ । তাহলে m ভরের বস্তুটিকে r দূরত্ব থেকে dr দূরত্ব সরাতে কৃত কাজ, dw=Fdr



বা, $dw=\dfrac{GMm}{r^2}dr------(1)$

চিত্রঃ ৪

সমীকরণ (1) কে সমাকলন করলে m ভরের বস্তুকে r_1 দূরত্ব থেকে r_2 দূরত্বে নিয়ে যেতে (অর্থাৎ A থেকে B তে নিয়ে যেতে) মোট কাজ পাওয়া যাবে।

$$\therefore w=\int dw=\int_{r_1}^{r_2}\frac{GMm}{r^2}dr$$

বা, $w=GMm\int_{r_1}^{r_2}r^{-2}dr=GMm\left[\dfrac{r^{-2+1}}{-2+1}\right]_{r_1}^{r_2}$

বা, $w=-GMm\left[\dfrac{1}{r}\right]_{r_1}^{r_2}=-GMm\left[\dfrac{1}{r_2}-\dfrac{1}{r_1}\right]$

$\therefore w=GMm\left[\dfrac{1}{r_1}-\dfrac{1}{r_2}\right]----------(2)$

সমীকরণ (2) মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে কাজের রাশিমালা নির্দেশ করে।

প্রশ্ন- (৯): যান্ত্রিক শক্তি কত প্রকার ও কি কি? সংজ্ঞাসহ ব্যাখ্যা কর।

উত্তরঃ যান্ত্রিক শক্তি দুই প্রকার। যথা (i) স্থিতি শক্তি এবং (ii) গতি শক্তি।

(i) স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি (Potential Energy): স্থিতি শক্তি অর্থ স্থিতিজনিত শক্তি। কোন একটি নির্দিষ্ট অবস্থায় বা অবস্থানে স্থির থাকার দরুন বস্তুতে যে পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত থাকে তাকে স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি বলে। স্থিতিশক্তি আবার দুই প্রকার যথা (i) অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি এবং (ii) স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি। কোন বস্তুকে তার প্রমাণ অবস্থান থেকে (মাটি থেকে) কোন উচ্চতায় উঠাতে যে কাজ হয় তা দ্বারা ঐ উচ্চতায় বস্তুর অভিকর্ষীয় স্থিতি শক্তি পরিমাপ করা হয়। আবার স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কোন বস্তুর প্রমাণ বা স্বাভাবিক আকার/আকৃতিকে পরিবর্তন করে অন্য আকার/আকৃতিতে রূপান্তর করতে যে কাজ হয় তা দ্বারা স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি পরিমাপ করা হয়। একে সাধারণত E_p দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(ii) গতিশক্তি (Kinetic Energy): গতিশক্তি অর্থ বস্তুর গতিজনিত শক্তি। কোন একটি বস্তু গতিশীল থাকার দরুন যে শক্তি অর্জন করে তাকে তার গতিশক্তি বলা হয়। কোন একটি গতিশীল বস্তু গতিশীল অবস্থা থেকে স্থিতিতে আসার পূর্ব মুহুর্ত পর্যন্ত যে পরিমাণ কাজ করে তা দ্বারা ঐ বস্তুর গতিশক্তি পরিমাপ করা হয়। আবার কোন স্থির বস্তুকে গতিশীল করতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয়, তা দ্বারাও গতিশক্তি পরিমাপ করা হয়। একে সাধারণত E_k দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

প্রশ্ন- (১০): গতিশক্তি পরিমাপের রাশিমালা বাহির কর।

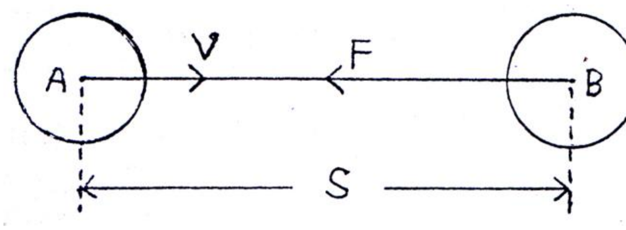
অথবাঃ দেখাও যে, m ভরের কোন বস্তু v বেগে গতিশীল হলে এর গতিশক্তি $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2$

অথবাঃ দেখাও যে, গতিশক্তি $E_k=\dfrac{p^2}{2m}$ যেখানে $p=$ ভরবেগ।

উত্তরঃ মনেকরি m ভরের একটি বস্তু AB সরল রেখা বরাবর v বেগে গতিশীল। বস্তুটির গতির বিপরীত দিকে অর্থাৎ BA বরাবর একটি বল F ক্রিয়া করছে। এতে বস্তুটিতে একটি মন্দন সৃষ্টি হবে। ধরি সৃষ্ট মন্দন $=a$ । সম-সন্দনে চলায় বস্তুটি s দূরত্ব অতিক্রমনের পর B অবস্থানে থেমে যায়। অতএব, গতিশীল অবস্থা হতে থেমে যাওয়ার পূর্ব মুহুর্ত পর্যন্ত বস্তু কর্তৃক কৃত কাজ,

$w=F\times S$

বা, $w=mas--------(1)$



যেহেতু বস্তুটির আদিবেগ $=v$, মন্দন $=a$ এবং s দূরত্ব অতিক্রমের পর শেষবেগ $=0$ । অতএব, আমরা পাই,

$(o)^2=v^2-2as$ বা, $2as=v^2$

$\therefore as=\dfrac{v^2}{2}-------------(2)$

চিত্রঃ ৫

(২) থেকে as -এর মান (১) -এ বসাই, $w=m.\dfrac{v^2}{2}$

$$\therefore w = \frac{1}{2}mv^2 ------(3)$$

এখন আমরা জানি, গতিশীল বস্তু গতিশীল অবস্থা থেকে থামার পূর্ব মুহূর্ত পর্যন্ত যে কাজ করে, সেই কাজের পরিমাণই হল বস্তুর গতিশক্তি।

অতএব, গতিশক্তি, $E_k = \frac{1}{2}mv^2 ------------(4)$

গতিশক্তি E_k এবং ভরবেগ p -এর মধ্যে সম্পর্ক: আমরা জানি গতিশক্তি,

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

এখানে, $mv =$ ভরবেগ $= p$

$$\therefore E_k = \frac{p^2}{2m} ------------------(5)$$

প্রশ্ন- (১১): কাজ-শক্তি উপপাদ্য বিবৃত, ব্যাখ্যা ও প্রমাণ কর।

অথবা, প্রমাণ কর যে, বল প্রয়োগের দ্বারা কোন বস্তুর বেগ পরিবর্তিত হলে বস্তুর গতিশক্তির পরিবর্তন বলের দ্বারা কৃত কাজের সমান।

উত্তর: কাজ-শক্তি উপপাদ্য (Work-energy theorem): কোন বস্তুর উপর ক্রিয়ারত লব্ধি বল কর্তৃক কৃত কাজ বস্তুর গতিশক্তির পরিবর্তনের সমান।

ব্যাখ্যা: কোন বস্তুর উপর এক বা একাধিক বল প্রয়োগ করা হলে যদি বস্তুর গতিবেগ তথা গতিশক্তির পরিবর্তন হয় তাহলে কাজ সম্পাদিত হবে, আর যদি গতিবেগ তথা গতিশক্তির পরিবর্তন না হয় তাহলে কাজও সম্পাদিত হবে না। গতিশক্তির পরিবর্তন যত হবে সম্পাদিত কাজের পরিমানও তত হবে।

প্রমাণ: কাজ-শক্তি উপপাদ্যটি দু'ভাবে প্রমাণ করা যায়। যথা (i) বস্তুর শক্তি বৃদ্ধির ক্ষেত্রে এবং (ii) বস্তুর শক্তি হ্রাসের ক্ষেত্রে।

(i) বস্তুর শক্তি বৃদ্ধির ক্ষেত্রে: মনেকরি, m ভরের একটি বস্তু u আদিবেগ নিয়ে চলছে। এমন সময় বস্তুর গতির অভিমুখে F মানের একটি ধ্রুব বল প্রয়োগ করা হল। এতে বস্তুতে সৃষ্ট ত্বরণ $= a$ এবং s দূরত্ব অতিক্রম করার পর বস্তুর শেষবেগ $= v$ হলো। অতএব, F বল কর্তৃক কৃত কাজ,

$$w = FS = mas ----------(1) \quad [\therefore F = ma]$$

আমরা জানি, $v^2 = u^2 + 2as$

বা, $v^2 - u^2 = 2as \quad \therefore as = \frac{v^2 - u^2}{2} ------(2)$

(2) থেকে as -এর মান সমীকরন (1) -এ বসাই

$$w = m\frac{v^2 - u^2}{2} = \frac{1}{2}m(v^2 - u^2)$$

$$\therefore w = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 ---------(3)$$

অর্থাৎ: বল দ্বারা সম্পাদিত কাজ = বস্তুর শেষগতি শক্তি- বস্তুর আদি গতিশক্তি
= বস্তুর গতি শক্তির বৃদ্ধি (প্রমাণিত)

(ii) বস্তুর শক্তি হ্রাসের ক্ষেত্রে: মনেকরি, m ভরের একটি বস্তু u আদিবেগ নিয়ে চলছে। এমন সময় বস্তুটির গতির বিপরীত অভিমুখে F মানের একটি ধ্রুব প্রয়োগ করা হল। এতে বস্তুতে সৃষ্ট মন্দন $= a$ এবং s দূরত্ব অতিক্রম করার পর বস্তুর শেষবেগ $= v$ । অতএব, F বল কর্তৃক কৃত কাজ,

$$w = FS = mas ----------(1) \quad [\therefore F = ma]$$

এখন আমরা জানি, $v^2 = u^2 - 2as$

বা, $2as = u^2 - v^2 \quad \therefore as = \frac{u^2 - v^2}{2} --------(2)$

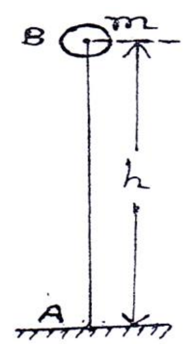
(২) থেকে $as -$ এর মান সমীকরণ (১) এ বসাই

$$w = m\frac{u^2 - v^2}{2} = \frac{1}{2}m(u^2 - v^2)$$

$$\therefore w = \frac{1}{2}mu^2 - \frac{1}{2}mv^2 --------(3)$$

অর্থাৎ, বল দ্বারা সম্পাদিত কাজ = বস্তুর আদি গতিশক্তি - শেষ গতিশক্তি
= বস্তুর গতিশক্তির হ্রাস। (প্রমাণিত)

প্রশ্ন- (১২): অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তির রাশিমালা বাহির কর।



উত্তর: মনেকরি m ভরের একটি বস্তু ভূপৃষ্ঠের A অবস্থানে ছিল। F পরিমাণ বল প্রয়োগ করে বস্তুটিকে h উচ্চতায় B অবস্থানে উঠানো হল। অতএব,

কাজ $w = F \times h ----------(1)$

আমরা জানি, কোন বস্তুকে উপরের দিকে উঠাতে হলে বস্তুটির ওজনের সম পরিমান বল প্রয়োগ করতে হয়। স্থানটির অভিকর্ষীয় ত্বরন= g হলে বস্তুটির ওজন $= mg$ ।

অতএব $F = mg$ । F এর মান (১) -এ বসাই, $w = mgh---------(2)$

চিত্রঃ ৬

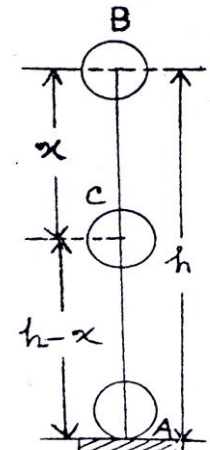
এখন কোন বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠ হতে h উচ্চতায় তুলতে যে কাজ সাধিত হয় সেই কাজই হলো বস্তুর অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি বা বিভব শক্তি। অতএব সমীকরণ (২) থেকে পাই অভিকর্ষীয় বিভব শক্তি,

$$E_p = mgh-----------(3)$$

প্রশ্ন- (১৩): শক্তির নিত্যতা সূত্রটি লিখ। পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা প্রমান কর।

শক্তির নিত্যতা সূত্র: "শক্তি অবিনশ্বর; এর সৃষ্টি বা বিনাশ নেই, ইহা কেবল এক রূপ থেকে অন্য এক বা একাধিক রূপে রূপান্তরিত হতে পারে। রূপান্তরের আগে ও পরে মোট শক্তির পরিমাণ অপরিবর্তনীয়। একে শক্তির অবিনাশীতাবাদও বলা হয়।

পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতা সূত্রের প্রমাণ: মনেকরি m ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুকে পৃথিবী পৃষ্ঠের A বিন্দু হতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে খাড়া h উচ্চতায় উঠিয়ে B বিন্দুতে স্থাপন করা হল। যেহেতু B বিন্দুতে বস্তুটির কোন বেগ বা গতি নেই অতএব B বিন্দুতে বস্তুটির মোট শক্তিই স্থিতি শক্তি। আর B বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতি শক্তি, $E_p = mgh$



এবং বস্তুটির গতি শক্তি, $E_k = 0$

$\therefore B$ বিন্দুতে বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তি, $E = E_p + E_k$

বা, $E = mgh-------(1)$

বস্তুটিকে B বিন্দু থেকে ছেড়ে দিলে তা অভিকর্ষ বলের প্রভাবে নিচে নামতে থাকবে। বস্তুটি যতই নিচে নামবে ততই তার বেগ বৃদ্ধি পাবে। ফলে বস্তুটির গতিশক্তি বৃদ্ধি পাবে এবং স্থিতি শক্তি হ্রাস পাবে। মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে বস্তুটি যে পরিমাণ স্থিতিশক্তি হারাবে ঠিক সে পরিমাণ গতি শক্তি লাভ করবে। ফলে সর্বত্র স্থিতি শক্তি ও গতি শক্তির সমষ্টি সমান থাকবে।

ধরি বস্তুটিকে B বিন্দু থেকে ছেড়ে দেওয়ার t সময় পর x দূরত্ব অতিক্রম করে c বিন্দুতে এল। c বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতি শক্তি এবং গতি শক্তি উভয়ই থাকবে।

$\therefore C$ বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতি শক্তি $E_p = mg(h-x)$

এবং C বিন্দুতে বস্তুটির গতি শক্তি $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

আমরা জানি $v^2 = u^2 + 2gx$ এখানে আদিবেগ $u = o$

$\therefore v^2 = 2gx$

$\therefore C$ বিন্দুতে বস্তুটির গতিশক্তি $E_k = \frac{1}{2}m \times 2gx = mgx$

$\therefore C$ বিন্দুতে বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তি $E = E_p + E_k$

$E = mg(h-x) + mgx$

বা, $= mgh - mgx + mgx$

$\therefore E = mgh-------(2)$

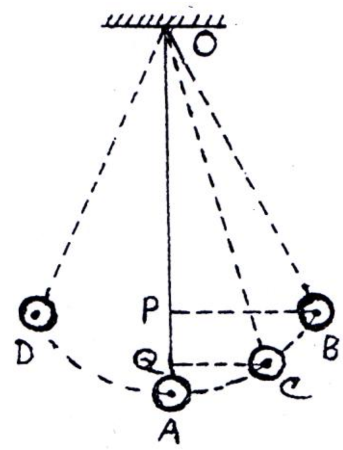
সমীকরণ (১) ও (২) হতে আমরা দেখতে পাই B ও c বিন্দুতে বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ অভিন্ন।

অর্থাৎ বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর যে কোন মুহূর্তে স্থিতি শক্তি ও গতি শক্তির সমষ্টি সমান।

প্রশ্ন- (১৪): সরল দোলকের ক্ষেত্রে যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা সূত্র প্রমাণ কর।

উত্তর: ধরি একটি সরল দোলকের ববের ভর $= m$, এর দোলনের সর্বোচ্চ বিন্দু B বা D এবং সর্বনিম্ন বিন্দু A। দোলক পিন্ডটি যখন B বা D বিন্দুতে পৌছায় তখন কিছুক্ষণের জন্য স্থির হয় আবার যখন A বিন্দুর দিকে যায় তখন ক্রমেই বেগ বৃদ্ধি পায়। A বিন্দুতে দোলক পিন্ডের বেগ সর্বাধিক হয়।

দোলকটি যখন B বা D বিন্দুতে থাকে তখন দোলকটির সব শক্তিই স্থিতিশক্তি। B বা D বিন্দুথেকে A বিন্দুর দিকে যেতে থাকে তখন ববটির স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে পরিণত হয়। A বিন্দুতে সব শক্তিই গতিশক্তি।



ববটি যখন সর্বোচ্চ বিন্দু B তে থাকে তখন সর্বনিম্ন বিন্দু থেকে এর উচ্চতা $= AP$ আবার যখন C বিন্দুতে থাকে তখন এর উচ্চতা $= AQ$। B বিন্দুতে ববটির স্থিতিশক্তি $E_p = mg \times AP$ এবং গতিশক্তি $E_k = o$

$\therefore B$ বিন্দুতে বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তি $E = E_p + E_k$

$$\therefore E = mg \times AP ------(1)$$

আবার, C বিন্দুতে ববটির স্থিতিশক্তি, $E_p = mg \times AQ$

এবং C বিন্দুতে ববটির গতিশক্তি $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(u^2 + 2gh)$

$$\text{বা, } E_k = \frac{1}{2}m(o + 2g \times PQ) = \frac{1}{2}m \times 2g \times PQ$$

$$\therefore E_k = mg \times PQ$$

$\therefore C$ অবস্থানে ববটির মোট যান্ত্রিক শক্তি $E = E_p + E_k$

$$\text{বা, } E = mg \times AQ + mg \times PQ$$

$$= mg(AQ + PQ)$$

$$\therefore E = mg \times AP ---------(2)$$

অতএব, সমীকরণ (১) ও (২) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, B বিন্দুতে এবং C বিন্দুতে ববটির যান্ত্রিক শক্তির মান একই বা অভিন্ন। সুতরাং সরল দোলক যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা মেনে চলে। (প্রমানিত)

প্রশ্ন- (১৫): সংরক্ষণশীল বল ও অসংরক্ষণশীল বল বলতে কি বুঝ? উদাহরণ দাও দেখাও যে, অভিকর্ষীয় বল সংরক্ষণশীল বল এবং ঘর্ষণ বল অসংরক্ষণশীল বল।

সংরক্ষণশীল বল: যে বল দ্বারা একটি বস্তু বা কণা যে কোন পথে একটি পূর্ণ চক্র সম্পন্ন করে আদি অবস্থানে ফিরে আসলে কাজের পরিমাণ শূন্য হয় সেই বলকে সংরক্ষণশীল বল বলে। এই বলের দ্বারা কৃত কাজ বস্তুর গতিপথের উপর নির্ভর করে না। যেমন অভিকর্ষীয় বল, বৈদ্যুতিক বল, আদর্শ স্প্রিং এর বল ইত্যাদি।

অসংরক্ষণশীল বল: যে বল দ্বারা একটি বস্তু বা কণা যে কোন পথে একটি পূর্ণ চক্র সম্পন্ন করে আদি অবস্থানে ফিরে আসিলে কাজের পরিমাপ শূন্য হয় না সেই বলকে অসংরক্ষণশীল বল বলে। দুটি বিন্দুর মধ্যে এই বল কর্তৃক কৃত কাজ বস্তুর গতি পথের উপর নির্ভর করে। যেমন- ঘর্ষণ বল, সান্দ্র বল ইত্যাদি অসংরক্ষণশীল বল।

অভিকর্ষীয় বল সংরক্ষণশীল বল: ধরি m ভরের একটি বস্তুকে ভূপৃষ্ঠের A অবস্থান থকে একটু উপরের দিকে B বিন্দুতে উঠানো হলো। এতে বস্তুটিকে খাড়া উপরের দিকে h উচ্চতায় উঠানো হলো। ধরি স্থানটির অভিকর্ষীয় ত্বরন $= g$ । এখন বস্তুটিকে 1.2 বা 3- এর যে কোন পথে A থেকে B বিন্দুতে নিয়ে গেলে সম্পাদিত কাজ,

$$w_{AB} = -mgh ---------(1)$$

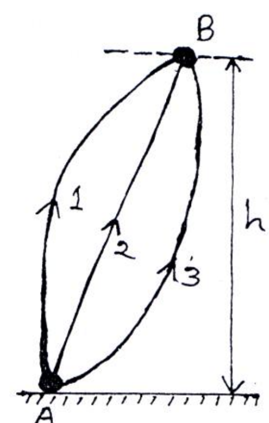
আবার, বস্তুটিকে ১.২ বা ৩- এর যে কোন পথে B থেকে A অবস্থানে আনা হলে সম্পাদিত কাজ,

$$w_{BA} = mgh ---------(2)$$

অতএব, দেখা যাচ্ছে যে, কাজের পরিমাণ বস্তুর গতি পথের উপর নির্ভর করে না।

এখন, বস্তুটিকে A থেকে B এবং B থেকে A তে আনতে মোট কৃতকাজ,

$$w = w_{AB} + w_{BA} = -mgh + mgh = 0$$



চিত্রঃ ৭

পূর্ণচক্র সম্পন্ন হলে কাজের পরিমাণ শূন্য হয়। অতএব, আমরা বলতে পারি অভিকর্ষীয় বল সংরক্ষণশীল বল। (প্রমাণিত)

ঘর্ষণ বল অসংরক্ষণশীল বল: ঘর্ষণ বল একটি অসংরক্ষণশীল বল।

কারন: (i) একটি বস্তুকে যখন কোন অমসৃন তলের উপর দিয়ে এক অবস্থান থেকে অন্য অবস্থানে নেয়া হয় তখন ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ সাধিত হয়। আবার বস্তুটিকে দ্বিতীয় অবস্থান থেকে প্রথম অবস্থানে ফিরে আনতেও ঘর্ষণ বরের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। অতএব পূর্ণ চক্র সম্পন্ন হওয়ার পর কাজের পরিমাণ শূন্য হয় না।

(ii) ঘর্ষণ বলের ক্ষেত্রে দুটি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্যে সম্পন্ন কাজের পরিমাণ গতিপথের উপর নির্ভর করে। কারণ ঘর্ষণ বলের মান বিভিন্ন পথে বিভিন্ন হয়ে থাকে।

অতএব, নির্দ্বিধায় বলা যায়, ঘর্ষণ বল একটি অসংরক্ষণশীল বল। (প্রমানিত)

প্রশ্ন: (১৬): সংরক্ষণশীল ও অসংরক্ষণশীল বলের মধ্যে পার্থক্য কর।

নিম্নে সংরক্ষণশীল ও অসংরক্ষণশীল বলের মধ্যে পার্থক্য করা হলো:

সংরক্ষণশীল বল (Conserva ve force)	অসংরক্ষণশীল বল (Non-conservative force)
১) সংজ্ঞা।	১) সংজ্ঞা।
২) দুটি বিন্দুর মধ্যে সংরক্ষণশীল বলের দ্বারা কাজ গতিপথের উপর নির্ভর করে না।	২) দুটি বিন্দুর মধ্যে অসংরক্ষণশীল বলের দ্বারা কাজ গতিপথের উপর নির্ভর করে।
৩) সংরক্ষণশীল বলের ক্রিয়ায় যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা পালিত হয়।	৩) অসংরক্ষণশীল বলের ক্রিয়ায় যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতা পালিত হয় না।
৪) এই বল কর্তৃক কৃত কাজ সম্পূর্ণরূপে ফিরে পাওয়া যায়।	৪) এই বল কর্তৃক কৃত কাজ সম্পূর্ণরূপে ফিরে পাওয়া যায় না।

প্রশ্ন- (১৭) : শক্তির অপচয় এবং কর্মদক্ষতা বলতে কি বুঝ?

শক্তির অপচয় (Dissipation of energy): শক্তির নিত্যতা অনুসারে শক্তি অবিনশ্বর। শক্তি কেবল একরূপ থেকে অন্য এক বা একাধিক রূপে রূপান্তরিত হতে পাবে; রূপান্তরের পূর্বে ও পরে মোট শক্তির কোন পরিবর্তন হয় না। বিজ্ঞানী লর্ড কেলভিন

সর্বপ্রথম লক্ষ্য করেন যে, শক্তি যখন একরূপ থেকে অন্যরূপে রূপান্তরিত হয় তখন কিছু পরিমাণ শক্তি এমনরূপে রূপান্তর হয়, যা আমাদের কোন কাজে আসে না। অর্থাৎ রূপান্তরের সময় কিছু পরিমাণ শক্তি নষ্ট হয় যা কিছুতেই কোন কাজে লাগে না। এ ঘটনাকে শক্তির অপচয় বলে।

যেমন রেলগাড়ীর ইঞ্জিন তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করছে। যান্ত্রিক শক্তির কিছু অংশ চাকার সাথে রেলের ঘর্ষণের জন্য আবার তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হচ্ছে; কিন্তু এ তাপশক্তি কোন কাজে লাগে না। শক্তির অপচয়ের জন্য মহাবিশ্বে কাজ করার উপযোগী শক্তি ক্রমশ হ্রাস পাচ্ছে।

কর্মদক্ষতা (Efficiency): কোন যন্ত্র থেকে প্রাপ্ত মোট কার্যকর শক্তি এবং প্রদত্ত মোট শক্তির অনুপাতকে ঐ যন্ত্রের কর্মদক্ষতা বলে। একে সাধারণত η দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং শতকরা হিসেবে প্রকাশ করা হয়,

তাই একে 100% দ্বারা গুণ করতে হয়। অর্থাৎ, $\eta = \frac{\text{মোট কার্যকর শক্তি}}{\text{মোট প্রদত্ত শক্তি}} \times 100\%$

উদাহরণ স্বরূপ কোন যন্ত্রের কর্মদক্ষতা 70% বলতে বুঝায় ঐ যন্ত্রে 100 একক শক্তি সরবরাহ করলে যন্ত্রটি 70 একক শক্তি কাজে রূপান্তর করবে অবশিষ্ট 30 একক শক্তির অপচয় হবে।

কাজ শক্তি ও ড়ামতা(গাণিতিক সমস্যাবলী)

সমস্যা- (১): ২০০ ডাইনের একটি বল একটি বস্তুর উপর $10Sec$ ক্রিয়া করে একে $1m$ দূরে স্থানান্তরিত করে। কাজ ও অশ্ব ড়ুগমতা বাহির কর।

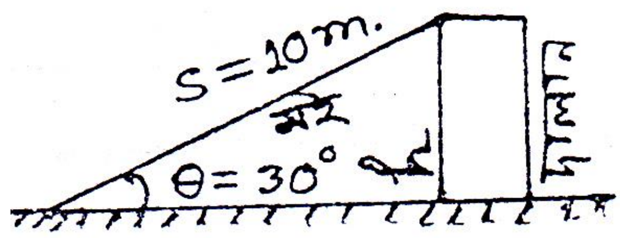
[সংকেত: $F=200$ ডাইন, $t=10S.$ $S=1m=100\ cm;$ $w=FS,$ $P=\frac{w}{t}$] $2.68\times10^{-7}\,H.P$

সমস্যা- (২): $20gm$ ভরের একটি বুলেট $4ms^{-1}$ বেগে $18cm$ পুরন্ন একটি কাঠের খন্ডকে ঠিক ভেদ করতে পারে। কাঠের প্রতিরোধকারী বল কত?

[সংকেত: $m=20gm=.02kg,$ আদিবেগ $u=4ms^{-1}$ শেষবেগ $v=0,$ $F=?$ ধরি কৃত কাজ $=w$। $\therefore w=\frac{1}{2}mu^2-\frac{1}{2}mv^2$

বা, $F\times S=\frac{1}{2}mu^2-0$ $\therefore F=\dfrac{\frac{1}{2}mu^2}{s}$ এখানে $S=18cm=\cdot18m$]

সমস্যা (৩): দালানের ছাদের সাথে লাগানো $10m$ দীর্ঘ একটি মই অনুভূমিকের সাথে 30° কোণে আছে। $40kg$ ভরের এক ব্যক্তি $10kg$ ভরের বোঝা সহ মই বেয়ে ১০ সে. সময়ে ছাদে উঠে। লোকটির অভিকর্ষীয় কাজ ও পরম কাজ কত? লোকটির ত্মগমতা কত?



এখানে, মোট ভর, $m=(80+10)=90kg.$

দালানের উচ্চতা = লোকটির খাড়া উপরের দিকে সরণ,

$h=S\ Sin\theta=10Sin30^\circ$

$\therefore h=5m.$

$\therefore$ অভিকর্ষীয় কাজ $w=mh=90\times5=450kg-m$ (উত্তর)

পরম কাজ, $w=mgh=90\times9.8\times5=4410\,j$ (উত্তর)

ত্মগমতা, $P=\frac{w}{t}=\frac{4410}{10}=441\ watt$ (উত্তর)

সমস্যা- (৪): দালানের ছাদের সাথে লাগানো $7.46m$ লম্বা একটি মই দেয়ালের সাথে 60° কোণে আছে। $60kg$ ভরের এক ব্যক্তি $15kg$ ভরের একটি বোঝাসহ $30Sec$ -এ মই বেয়ে ছাদে উঠে। লোকটির ত্মগমতা নির্ণয় কর। উত্তর: $91.38watt$

[সংকেত: সমস্যা (৩)-এর মত। এত্মেগত্রে $h=s\cos\theta$ হবে]

সমস্যা- (৫): একটি ইঞ্জিন ভূমির সাথে 30° কোণে 120N বল প্রয়োগ করে একটি বস্তুকে টেনে $2ms^{-1}$ সমবেগে সরাতে থাকে। 5 মিনিটে ইঞ্জিনটি কত কাজ করবে? উত্তর: $62352\,j$

[সংকেত: $w=FSCos\theta$ এখানে, $S=vt=2\times5\times60=600m$]

সমস্যা (৬): একটি ইঞ্জিন ভূমির সাথে 10° কোণে $500N$ বল প্রয়োগ করে একটি স্থির $5ms^2$ সমত্বরণে টেনে নিয়ে যাচ্ছে। ইঞ্জিনটি 7 সেকেন্ডে কত কাজ করবে?

[সংকেত: সমস্যা (৫)- এর মত। তবে $s=ut+\frac{1}{2}at^2$ সূত্র দিয়ে বের কর] উত্তর: $60270\,j$

সমস্যা- (৭): এক ব্যক্তির সিড়ি বেয়ে উপর তলায় উঠতে 25sec সময় ব্যয় হয়। উপরে উঠতে মোট 75টি ধাপ অতিক্রম করতে হয়। প্রতিটি ধাপের উচ্চতা $12cm.$ এবং লোকটির ভর $50kg$ হলে তার অশ্ব ত্মগমতা কত? উত্তর: $24HP$

সমস্যা- (৮): একটি ইঞ্জনের সাহায্যে $100m$ গভীর একটি খনি হতে প্রতি মিনিটে $1200kg$ কয়লা উঠানো যায় ইঞ্জিনটির ত্মগমতা ওয়াট. কিলোওয়াট এবং অশ্ব ত্মগমতায় নির্ণয় কর।

উত্তর: $19600watt, 19.6kwatt$ এবং $26.27H.P.$

[সংকেত: গভীরতা $h=100m$ সময় $t=60s.$ কয়লার ভর $m=1200kg,$ $p=?$ $w=mgh$ এবং $p={}^{w}\!/_{t}$]

সমস্যা- (৯): $100m$ গভীর একটি কুয়া থেকে ইঞ্জিনের সাহায্যে প্রতি মিনিটে $1500kg$ পানি উত্তোলন করা যায়। ইঞ্জিনের কার্যকর ত্মগমতা 70% হলে এর ত্মগমতা অশ্ব ত্মগমতায় নির্ণয় কর।

মনেকরি কৃত কাজ = w। অতএব,

$w=mgh=1500\times9.8\times100\,j$

$\therefore P=\frac{w}{t}=\frac{1500\times9.8\times100}{60}=24500\ watt$

বা, $p=\frac{24500}{746}=32.84H.P.$

এখানে,

কয়ার গভীরতা, $h=100m.$

সময়, $t=60S.$

পানির ভর, $m=1500kg$

কার্যকর ত্মগমাত= 70%

প্রকৃত ত্মগমতা, $P=?$

$P=32.84H.P.=$ ইঞ্জিনের কার্যকর ত্মগমতা।

এখন, কার্যকর ত্মগমতা $70H.P.$ হলে প্রকৃত ত্মগমতা $=100H.P.$

$\therefore$ কার্যকর ত্মগমাত $1H.P.$ হলে প্রকৃত ত্মগমতা $=\frac{100}{70}H.P.$

$\therefore$ কার্যকর ত্মগমাত $32.84H.P.$ হলে প্রকৃত ত্মগমতা $=\frac{100\times32.84}{70}=46.91H.P.$

$\therefore$ ইঞ্জিনটির প্রকৃত ত্মগমতা $46.91\,H.P.$ (উত্তর)

সমস্যা- (১০): $75m$ গভীর একটি কুয়া থেকে ইঞ্জিনের সাহায্যে প্রতি মিনিটে $1000kg$ পানি উঠানো যায়। যদি ইঞ্জিনের দক্ষতা 40% নষ্ট হয় তবে এর অশ্ব ক্ষমতা কত?

[সংকেত: সমস্যা (৯) এর অনুরূপ। দক্ষতা 40% নষ্ট হলে কার্যকর ক্ষমতা $=(100-40)=60\%$] উত্তর: $27.36H.P.$

সমস্যা- (১১): $100m$ গভীর একটি কুপ থেকে মোটর দ্বারা প্রতি মিনিটে $1000kg$ পানি উঠানো যায়। যদি ইঞ্জিনটির ক্ষমতা 42% নষ্ট হয় তাহলে মোটরটির অশ্ব ক্ষমতা কত? উত্তর: $37.749H.P.$

সমস্যা- (১২): কোন কুয়া থেকে $20m$ উপরে পানি তোলার জন্য $6kw$ এর একটি পাম্প ব্যবহার করা হচ্ছে। পাম্পের দক্ষতা 88.2% হলে প্রতি মিনিটে কত লিটার পানি তোলা যাবে?

[সংকেত: পাম্পের প্রকৃত ক্ষমতা, $p=6kw=6000w$। কার্যকর ক্ষমতা $p'=6000$ এর 88.2%

$\therefore p'=6000$ এর $\frac{88.2}{100}=5292watt.$ উচ্চতা $h=20m.$ সময় $t=60\sec$ লিটারে পানির পরিমাণ $=?$ আমরা পাই, $p'=\frac{w}{t}$

বা, $p'=\frac{w}{t}$ বা, $p'=\frac{mgh}{t}$

$\therefore p't=mgh$ বা, $m=\frac{p't}{gh}=\frac{5292\times 60}{9.8\times 20}=1620kg$। আমরা জানি, $1kg$ পানির আয়তন $=1$ লিটার।

$\therefore 1620kg$ পানির আয়তন $=1620$ লিটার। (উত্তর)

সমস্যা- (১৩): ভূ-পৃষ্ঠ থেকে $1.5km$ উপরে কিছু পরিমাণ মেঘ আছে। ঐ মেঘ বৃষ্টি রূপে নেমে এসে ভূপৃষ্ঠের $1\times 10^6 m^2$ স্থানে $1cm$ গভীরতার সৃষ্টি করে। উক্ত পানিকে মেঘে পরিণত করতে কত কাজ করতে হয়েছিল? উত্তর: $14.7\times 10^{10} j$

[সংকেত: ধরি পানির ভর $=m$। $\therefore$ কাজ $w=mgh$ এখানে, $h=1.5km=1500m.$ $g=9.8ms^{-2}$। $m=$ পানির আয়তন $\times$ ঘনত্ব $=$ ক্ষেত্রফল $\times$ পানির গভীরতা $\times$ ঘনত্ব। ক্ষেত্রফল $=1\times 10^6 m^2$, গভীরতা $=1cm=0.01m$ পানির ঘনত্ব $=1000kgm^{-3}$]

সমস্যা- (১৪): একটি পানিপূর্ণ কুয়ার গভীরতা $10m$ এবং ব্যাস $4m$। একটি পাম্প 20 মিনিটে কুয়াটিকে পানি শূণ্য কতে পারে। পাম্পের অশ্ব ক্ষমাত কত?

এখানে, কুয়ার গভীরতা, $h=10m.$

ব্যাস $d=4m$ $\therefore$ ব্যাসার্ধ $r=\frac{4}{2}=2m$

সময় $t=20\min=20\times 60$

$=1200\sec$

কুয়া ভর্তি পানির ভারকেন্দ্রের সরণ $h'=\frac{h}{2}=\frac{10}{2}=5m$

পাম্পের ক্ষমতা $p=?$

আমরা জানি, পনির ঘনত্ব, $p=1000kgm^{-3}$

ধরি, কুয়া ভর্তি পানির ভর $=m$ এবং কুয়াটিকে পানি শূন্য করতে কৃত কাজ $=w$।

অতএব, আমরা পাই

$$p=\frac{w}{t}=\frac{mgh'}{t}$$

বা, $p=\frac{m\times 9.8\times 5}{1200}$ -------- (1)

এখানে, $m=$ পানির আয়তন $\times$ ঘনত্ব

$=\pi r^2 h\times\rho=3.14\times(2)^2\times 10\times 1000kg$

$\therefore m=3.14\times 4\times 10\times 1000kg$

এখন (১) থেকে পাই, $p=\frac{3.14\times 4\times 10\times 1000\times 9.8\times 5}{1200}=5128.66watt$

$\therefore p=\frac{5128.66}{746}=6.87H.P.$ (উত্তর)

সমস্যা- (১৫): একটি পানি পূর্ন কুয়ার গভীরতা $12m$ এবং ব্যাস $1.8m$। একটি পাম্প ২৪ মিনিটে কুয়াটিকে পানিশূন্য করতে পারে। পাম্পটির অশ্ব ক্ষমতা কত? উত্তর: $1.6714H.P.$

[সংকেত: সমস্যা (১৪) মত]

সমস্যা- (১৬): একটি পাম্প ঘন্টায় $25\times 10^6 kg$ পানি $50m$ উচুতে তুলতে পারে। পাম্পের ক্ষমতার 70% কার্যকর হলে উহার প্রকৃত ক্ষমতা কত? উত্তর: $6516.08H.P.$

সমস্যা- (১৭): $8\times 10^4 kg$ ভর বিশিষ্ট একটি ট্রেন ঘন্টায় $60km$ বেগে চলেছে। ব্রেক চেপে এর বেগ (i) $40kmh^{-1}$ করতে এবং (ii) থামাতে কত কাজ করতে হবে? আবর (iii) ট্রেনটির গতিবেগ $60kmh^{-1}$ থেকে $70kmh^{-1}$ করতে কত কাজ করতে হবে?

[সংকেত: কাজ-শক্তি উপপাদ্য অনুসারে $w=\frac{1}{2}mu^2-\frac{1}{2}mv^2$] উত্তর: (i) $617.8\times 10^4 j$

[এবং (iii) নং এর ক্ষেত্রে $w=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2$] উত্তর:(ii) $1111.52\times 10^4 j$, উত্তর:(iii) $400.12\times 10^4 j$

সমস্যা- (১৮): 0.50kg ভরের একটি বোমা ভূমি হতে 1km উচুতে অবস্থিত একটি বিমান হতে ফেলে দেয়া হলো। ভূমি স্পর্শ করার পূর্ব মূহুর্তে এর গতিশক্তি কত হবে?

[সংকেত: $E_k=\frac{1}{2}mv^2; v^2=u^2+2gh;\ u=o, h=1000m,\ g=9.8ms^{-2}$] উত্তর: $4900j$

সমস্যা- (১৯): $1.5kg$ ভরের একটি বস্তুকে $30ms^{-1}$ বেগে খাড়া উপরের দিকে ছোড়া হলো। (i) $2\sec$ পর এর গতিশক্তি কত হবে? (ii) $3\sec$ পর গতিশক্তি কত হবে?

[সংকেত, $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ এবং $v=u-gt$ ব্যবহার কর] উত্তর: $(i)\ 81.12j$ এবং $(ii)\ 0.27j$

সমস্যা- (২০): $h\ m$ উচু কোন স্থান হতে একটি বস্তু অভিকর্ষের টানে নিচে পড়ে। বিনা বাধায় পড়তে থাকলে কোথায় (i) গতি শক্তি ও বিভব শক্তি সমান হবে (ii) গতি শক্তি বিভব শক্তি অর্ধেক হবে এবং (iii) বিভব শক্তি গতিশক্তির অর্ধেক হবে?

উত্তর: $(i)\frac{h}{2}$ উচ্চতায় $(ii)\frac{2}{3}h$ উচ্চতায় $(R.B.06)$ এবং $(iii)\frac{1}{3}h$ উচ্চাতায়

[সংকেত: এখানে উচ্চতা $=h\ m$ আদিবেগ $u=0$। ধরি মাটি থেকে $x.m.$ উচ্চতায় (i) বিভব শক্তি ও গতিশক্তি সমান হবে (ii) গতিশক্তি বিভব শক্তির অর্ধেক হবে (iii) বিভব শক্তি গতি শক্তির অর্ধেক হবে। $\therefore$ বস্তুটির নিচের দিকে সরন $=h-x$। এখন x উচ্চতায় স্থিতিশক্তি, $E_p=mgx$ এবং গতিশক্তি $E_k=mg(h-x)$। শর্তানুসারে

$$(i)\,E_p=E_k\ (ii)\ E_k=\frac{1}{2}E_p\ (iii)\ E_p=\frac{1}{2}E_k$$

সমস্যা- (২১): একটি বস্তুকে নিদিষ্ট উচ্চতা থেকে ছেড়ে দেয়া হল। ভূমি হতে $10m$ উচ্চতায় গতিশক্তি বিভব শক্তির দ্বিগুন হলে কত উচ্চতা থেকে বস্তুটি ফেলা হয়েছিল। উত্তর: $30m$

[সংকেত: $x=10m,\ u=0,\ h=?\ x\ m.$ উচ্চতায় স্থিতিশক্তি $E_p=mgx=10mg;$ গতিশক্তি

$$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m[u^2+2g(h-10)];$$ শর্তানুসারে $E_k=2E_p$]

সমস্যা: (২২): $100gm$ ভর বিশিষ্ট একটি বস্তুকে $100m$ উচু একটি দালানের ছাদ হতে ছেড়ে দেয়া হল। বস্তুটিকে ছেড়ে দেয়ার $1Sec$ পর এবং বস্তুটি যখন ঠিক দালানের তলদেশে পৌছে তখন গতিশক্তি কত হবে? উত্তর: $4.802\,j$ ও $98\,j$।

সমস্যা- (২৩): একটি নিউটনের ভর $1.67\times10^{-27}kg$ এবং ইহা $4\times10^4ms^{-1}$ বেগে গতিশীল। নিউট্রনটির গতিশক্তি নির্ণয় কর। উত্তর: $13.36\times10^{-19}j$

সমস্যা- (২৪): $200gm$ ভরের একটি বস্তু কত উপর থেকে নিচে পড়লে ভূমি স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে এর গতিশক্তি $19.6\,j$ হবে?
উত্তর: $10m$

[সংকেত: $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ হতে v নির্ণয় কর। এরপর $v^2=u^2+2gh$ থেকে h নির্ণয় কর]

সমস্যা- (২৫): $270kg$ ভরের একটি বোঝা একটি ক্রেনের সাহায্যে $0.1ms^{-1}$ ধ্রুব বেগে উঠানো হল। ক্রেনের কত ক্ষমতা ব্যয় হবে? উত্তর: $264.6watt$

[সংকেত: $m=270kg,\ v=0.1ms^{-1},\ p=?,\quad p=\frac{w}{t}=\frac{Fs}{t}=FV=mgv$]

সমস্যা- (২৬): একটি রাইফেলের গুলি একটি তক্তাকে ঠিক ভেদ করতে পারে। গুলির বেগ 3 গুণ করা হলে উহা কয়টি তক্তা ভেদ করতে পারবে? উত্তর: 9টি

[সংকেত: ১ম ক্ষেত্রে গুলিরবেগ $=v\ \therefore$ ২য় ক্ষেত্রে বেগ $=3v,$ ধরি ২য় ক্ষেত্রে n টি তক্তা ভেদ করতে পারবে এবং প্রত্যেক তক্তার পুরুত্ব $=s$। তাহলে প্রথম ক্ষেত্রে গুলির সরন $=s$ ও ২য় ক্ষেত্রে সরন $=ns$। আবার গুলির ভর $=m$ এবং মন্দন a হলে আমরা পাই,

১ম ক্ষেত্রে কাজ $=F\times S=\frac{1}{2}mv^2-0$ বা, $mas=\frac{1}{2}mv^2$ --------(1)

২য় ক্ষেত্রে কাজ $=F\times ns=\frac{1}{2}m(3v)^2-0$ বা, $mans=9\frac{1}{2}mv^2$ --------(2)

এখন সমীকরণ $(1)\div(2)$ কর]

সমস্যা- (২৭): একটি রাইফেলের গুলি নির্দিষ্ট পুরুত্বের একটি তক্তাভেদ করতে পারে। এরূপ 16টি তক্তা ভেদ করতে হলে গুলির বেগ কতগুণ করতে হবে? উত্তর: 4 গুণ

সমস্যা- (২৮): $25N$ বল কোন স্প্রিংকে টেনে $10cm$ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করে। স্প্রিংটিকে $6cm$ বৃদ্ধি বা প্রসারিত করার জন্য কত কাজ করতে হবে? উত্তর: $0.45\,j$

$$\left[F=25N,\ x_1=10cm=0.1m,\ F=kx_1\ \therefore k=\frac{F}{x_1}=\frac{25}{0.1}=250Nm^{-1}\ \text{এখন}\ w=\frac{1}{2}kx_2^2;x=.06m\right]$$

সমস্যা- (২৯): $5kg$ ভরের একটি বস্তু $5m$ উচু থেকে একটি লোহার পেরেকের উপর পড়লে পেরেকটি মাটির ভিতর $10cm$ ঢুকে যায়। মাটির গড় প্রতিরোধ বল কত?

আমরা জানি, বস্তুটির ব্যয়িত স্থিতিশক্তি = মাটির প্রতিরোধ বলের বিরুদ্ধে কৃত কাজ	এখানে, বস্তুর ভর, $m=5kg$
বা, $mg(h+s)=FS$	বস্তুর উচ্চতা $h=5m$
	পেরেকের সরন $S=10cm=0.1m$
$\therefore F=\frac{mg(h+s)}{s}=\frac{5\times9.8\times(5+0.1)}{0.1}=2499N$	মাটির প্রতিরোধ বল $F=?$
	বস্তুটি ব্যয়িত স্থিতিশক্তি $E_p=mg(h+s)$

সমস্যা- (৩০): $6kg$ ভরের একটি বস্তু স্থির অবস্থায় ছিল। $30N$ বল প্রয়োগ করায় $10\sec$ পর উহার গতিশক্তি কত হবে?
উত্তর: $7500\,j$

সমস্যা- (৩১): $2kg$ ভরের একটি বস্তুকে ভূমি থেকে খাড়া উপরের দিকে নিক্ষেপ করার পর বিভব শক্তি ও গতিশক্তি নির্ণেয় কর।

উত্তর: নিক্ষেপের মূহূর্তে, $E_p=0,\ E_k=1516,64\,j;\ 2\sec$ পর $E_p=1152.84\,j$ এবং $E_k=384.15\,j$

সমস্যা- (৩২): $5j$ গতিশক্তির বস্তুর গতির বিপরীতে $1N$ বল প্রয়োগ করলে বস্তু কত দূরত্বে থামে যাবে? [সংকেত: $w = E_k$ বা $F \times S = E_k, S = ?$ উত্তর: $5m$