2. कार्य आणि ऊर्जा

- कार्य
- ऊर्जा
- यांत्रिक ऊर्जा
- ऊर्जा अक्षय्यतेचा नियम
- मुक्त पतन

निरीक्षण करा.

2.1 विविध घटना

सांगा पाहू !

1. वरील चित्र 2.1 मध्ये कोणकोणत्या घटनांमध्ये कार्य झाले आहे?
2. शास्त्रीय दृष्टिकोनातून विचार करता कार्य झाले नाही असे आपण केव्हा म्हणतो?

सामान्यत: कोणत्याही शारीरिक किंवा बौद्धिक कृतीला कार्य म्हणून संबोधण्याची प्रथा आहे. आपण चालतो किंवा धावतो तेंव्हा आपल्या शरीरातील ऊर्जा कार्य करण्यासाठी उपयोगात आणली जाते.

अभ्यास करणाऱ्या मुलीनेही कार्य केले आहे असे आपण म्हणतो परंतु ते तिचे मानसिक कार्य आहे.

भौतिकशास्त्रात आपण भौतिक कार्याचा विचार करतो. भौतिकशास्त्रात कार्य या शब्दाला विशिष्ट अर्थ आहे.

'एखाद्या वस्तूवर बल प्रयुक्त केले असता त्या वस्तूचे विस्थापन झाल्यास शास्त्रीयदृष्ट्या कार्य घडून आले असे म्हणता येते.'

पदार्थावर प्रयुक्त केलेल्या बलाने केलेले कार्य हे बलाचे परिमाण आणि पदार्थाचे बलाच्या दिशेने झालेले विस्थापन यांच्या गुणाकाराइतके असते हे तुम्ही शिकला आहात. म्हणजेच कार्य = बल × विस्थापन

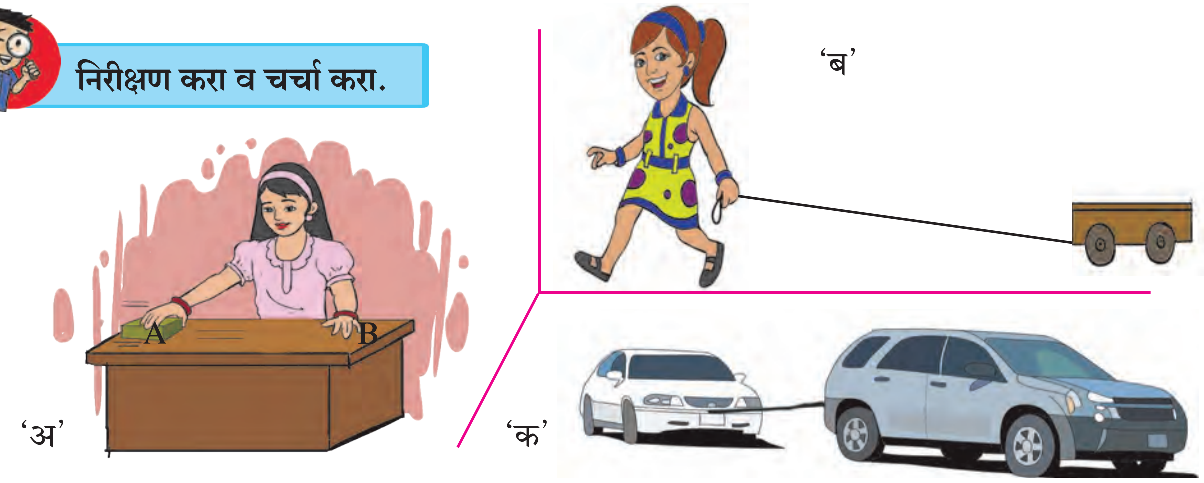
थोडे आठवा. बलाचे प्रकार व त्यांची उदाहरणे कोणती?

मीनाक्षीला एक लाकडी ठोकळा A या ठिकाणापासून B या ठिकाणापर्यंत विस्थापित करायचा आहे. पुढील पृष्ठावरील चित्र 2.2 'अ' पहा. त्यावेळी तिने F एवढे बल लावले असताना खर्च झालेली सर्व ऊर्जा त्या ठोकळ्यामध्ये त्वरण निर्माण करण्यासाठीच वापरली गेली असेल का? ती ऊर्जा कोणकोणत्या बलावर मात करण्यासाठी वापरली गेली असेल?

जरा डोके चालवा.

वस्तूचे विस्थापन बलाच्या दिशेने होत असताना झालेले कार्य काढण्याची पद्धत तुम्ही शिकला आहात परंतु जर वस्तूचे विस्थापन बलाच्या दिशेने होत नसेल तेंव्हा झालेले कार्य कसे काढता येईल?

निरीक्षण करा व चर्चा करा.



2.2 वस्तूचे विस्थापन

चित्र 2.2 मधील ‘ब’ व ‘क’ मध्ये दाखविलेल्या घटना तुम्ही पाहिलेल्या असतील. लहान मूल गाडी खेळत असताना त्याने लावलेले बल व गाडीचे होणारे विस्थापन हे एकाच दिशेने असत नाही. त्याचप्रमाणे मोठ्या वाहनाने लहान वाहनास ओढत घेऊन जाताना तुम्ही पाहिले असेल. यावेळीही बल आणि विस्थापन यांची दिशा सारखी नसते म्हणजेच विस्थापनाच्या दिशेशी काही अंश कोनातून बल लावले गेलेले असते. अशा वेळी घडून आलेले कार्य कसे काढतात ते पाहू.

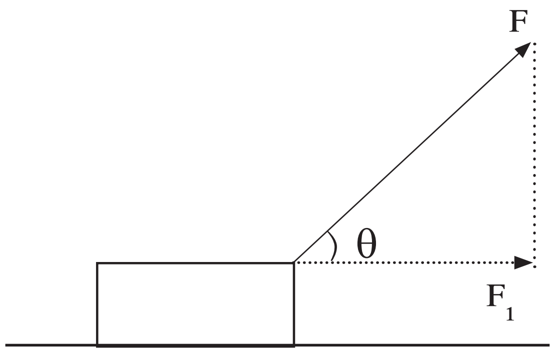
वरील उदाहरणात लहान मूल खेळण्यातील गाडी दोरीच्या साहाय्याने ओढते तेव्हा बल दोरीच्या दिशेने लावले जाते व गाडी क्षितिज समांतर (Horizontal) पृष्ठभागावरून ओढली जाते. या वेळी झालेले कार्य काढण्यासाठी लावलेल्या बलाला विस्थापनाच्या दिशेत लागलेल्या बलामध्ये रूपांतरित करून घ्यावे लागते.

F हे प्रत्यक्ष लावलेले बल व F_1 हे विस्थापनाच्या दिशेतील बल मानू. s हे विस्थापन आहे. यावेळी झालेले कार्य

$W = F_1 . s$ .... (1)

बल (F) दोरीच्या दिशेने म्हणजेच क्षितिज समांतर रेषेशी काही अंशाच्या कोनातून प्रयुक्त केले आहे.

F ह्या बलाचा क्षितिज समांतर दिशेला कार्य करणारा घटक F_1 हा त्रिकोणमितीच्या साहाय्याने काढता येतो. (आकृती 2.3 पहा)



2.3 विस्थापनासाठी लागलेले बल

$\cos\theta$ = कोनालगतची बाजू/ कर्ण

$$\cos\theta = \frac{F_1}{F}$$

$F_1 = F\cos\theta$

म्हणून या बलाने झालेले कार्य

$W = F\cos\theta\, s$

$W = F\, s\cos\theta$

θ च्या विशिष्ट मूल्यासाठी झालेल्या कार्याबद्दलचे निष्कर्ष खालील सारणीत नमूद करा.

θ	$\cos\theta$	$W = F\, s\cos\theta$	निष्कर्ष
0^0	1	$W = F\, s$	
90^0	0	0	
180^0	-1	$W = -F\, s$	

कार्याचे एकक

कार्य = बल × विस्थापन

SI पद्धतीत बलाचे एकक न्यूटन (N) व विस्थापनाचे एकक मीटर (m) आहे. म्हणून कार्याचे एकक न्यूटन-मीटर आहे. यालाच ज्यूल असे म्हणतात.

1 ज्यूल : 1 न्यूटन बलाच्या क्रियेमुळे वस्तूचे बलाच्या दिशेने 1 मीटर विस्थापन होत असल्यास घडून आलेले कार्य 1 ज्यूल होय.

∴ 1 ज्यूल = 1 न्यूटन × 1 मीटर

$1\ J = 1\ N \times 1m$

CGS पद्धतीत बलाचे एकक डाईन व विस्थापनाचे एकक सेंटिमीटर (cm) आहे. म्हणून कार्याचे एकक डाईन-सेंटिमीटर आहे. यालाच अर्ग असे म्हणतात.

1 अर्ग : 1 डाईन बलाच्या क्रियेमुळे वस्तूचे बलाच्या दिशेने 1 सेंटीमीटर विस्थापन होत असल्यास घडून आलेले कार्य 1 अर्ग होय.

1 अर्ग = 1 डाईन × 1 सेमी

ज्यूल आणि अर्ग यामधील संबंध

1 न्यूटन = 10^5 डाईन व 1 मीटर = 10^2 सेमी हे आपणास माहीत आहे.

कार्य = बल × विस्थापन

1 ज्यूल = 1 न्यूटन × 1 मीटर

1 ज्यूल = 10^5 डाईन × 10^2 सेमी

= 10^7 डाईन सेमी

1 ज्यूल = 10^7 अर्ग

धन, ऋण व शून्य कार्य (Positive, Negative and Zero work)

विचार करा व सांगा

बल व विस्थापन यांच्या दिशांबाबत चर्चा करा.

1. बंद पडलेल्या गाडीला धक्का देणे
2. तुमच्या मित्राने तुमच्याकडे फेकलेल्या चेंडूचा झेल घेणे
3. दोरीच्या टोकाला दगड बांधून गोल गोल फिरवणे
4. जिना चढणे व उतरणे, झाडावर चढणे
5. गतिमान गाडीला ब्रेक लावून थांबवणे

वरील उदाहरणांचा अभ्यास केल्यानंतर आपल्या लक्षात येईल की काही उदाहरणांमध्ये बल व विस्थापन यांची दिशा सारखीच आहे, काहींमध्ये दोन्ही एकमेकांच्या विरुद्ध आहेत, तर काही उदाहरणामध्ये बल व विस्थापन यांची दिशा एकमेकांस लंबरुप आहे. अशा वेळी बलामुळे घडणारे कार्य पुढीलप्रमाणे आहे.

1. ज्या वेळेस बलाची व विस्थापनाची दिशा एकच असते ($\theta = 0^0$) त्या वेळेस त्या बलाने केलेले कार्य धन कार्य असते.
2. ज्या वेळी बलाची व विस्थापनाची दिशा एकमेकांच्या विरुद्ध असते ($\theta = 180°$) त्या वेळी त्या बलाने केलेले कार्य ऋण कार्य असते.
3. ज्या वेळेस बल लावले असता विस्थापन होत नाही किंवा बल व विस्थापन एकमेकांना लंबरूप असतात ($\theta = 90°$). त्या वेळेस बलाने केलेले कार्य शून्य असते.

करून पहा.

एक प्लॅस्टिकचा कप घ्या. त्याच्या खालच्या बाजूस मध्यभागी एक छिद्र पाडा. त्या छिद्रामधून लांब दोरा दुहेरी करून वर घ्या व त्याला पुरेशी जाड गाठ बांधा जेणेकरून दोरा छिद्रातून खाली येणार नाही. दोऱ्याच्या दोन्ही मोकळ्या टोकांना एक नट बांधा. चित्र 2.4 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे कृती करत रहा.

आकृती अ – कप टेबलावर ठेवून एका बाजूचा नट प्लॅस्टिकच्या कपामध्ये ठेवा व दुसऱ्या बाजूचा नट आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे खालच्या दिशेने सोडा. काय होते?

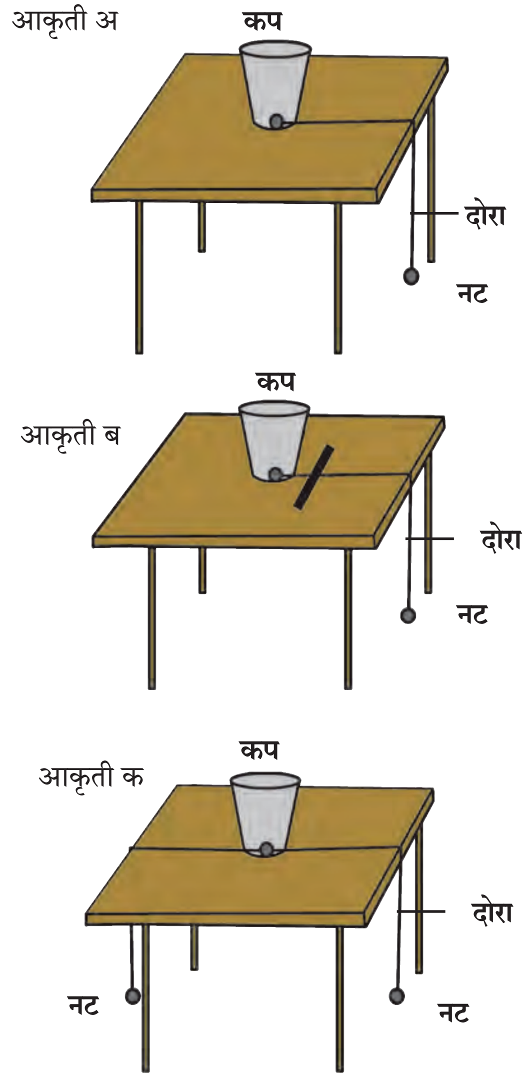
आकृती ब – कप पुढे सरकत असताना पट्टी घेऊन अडथळा निर्माण करा व कपाला थांबवा.

आकृती क – कप टेबलवर ठेवून दोन्ही बाजूंना नट सोडून द्या.

प्रश्न

1. आकृती (अ) मधील कप का खेचला जातो?
2. आकृती (ब) मधील कपाच्या विस्थापनाची दिशा व पट्टीने लावलेल्या बलाची दिशा यांच्यांतील संबंध काय?
3. आकृती (क) मध्ये कपाचे विस्थापन का होत नसेल?
4. आकृती (अ), (ब) व (क) मध्ये घडून आलेले कार्य कोणत्या प्रकारचे आहे?

वरील तिन्ही कृतींमध्ये बल व झालेले विस्थापन यांच्या संदर्भात कार्यकारणभाव काय आहे?



2.4 धन,ऋण व शून्य कार्य

समजा एक कृत्रिम उपग्रह पृथ्वीभोवती वर्तुळाकार कक्षेत परिभ्रमण करत आहे. उपग्रहावर असलेले गुरुत्वीय बल व उपग्रहाचे विस्थापन एकमेकांना लंब दिशेत असल्याने गुरुत्वीय बलाने केलेले कार्य शून्य असते.

कार्य संस्थांचे

राष्ट्रीय भौतिकी प्रयोगशाळा, दिल्ली (National Physical Laboratory) या संस्थेची संकल्पना 1943 मध्ये मांडण्यात आली. ही प्रयोगशाळा वैज्ञानिक व औद्योगिक अनुसंधान परिषदेच्या नियंत्रणात कार्यरत आहे. येथे भौतिकशास्त्राच्या विविध शाखांमध्ये मूलभूत संशोधनाचे कार्य चालते तसेच उद्योगांना आणि विकासकामात गुंतलेल्या विविध संस्थांना मदत करण्यात येते. मापनाची राष्ट्रीय मानके प्रस्थापित करणे हा या संस्थेचा प्रमुख उद्देश आहे.

सोडवलेली उदाहरणे

उदाहरण 1: 20 kg वजनाची वस्तू 10 m उंचीवर घेऊन जाण्यासाठी लागणारे कार्य काढा.
($g = 9.8\ m/s^2$)

दिलेले : m = 20 kg; s = 10 m
$g = 9.8\ m/s^2$
$\therefore F = m.g$
$= 20 \times (-9.8)$
(बलाची दिशा विस्थापनाच्या विरुद्ध दिशेने असल्याने ऋण चिन्ह घेतले आहे.)
$F = -196\ N$
$\therefore W = F\,s$
$= -196 \times 10$
$W = -1960\ J$
(बलाची दिशा विस्थापनाच्या विरुद्ध दिशेने असल्याने ऋण चिन्ह आले आहे.)

उदाहरण 2: प्रवीणने क्षितिज समांतर दिशेशी 60^0 कोनातून लावलेल्या 100 N बलामुळे वस्तूचे क्षितिज समांतर दिशेत विस्थापन होत असून 400 J एवढे कार्य होत असल्यास वस्तूचे झालेले विस्थापन किती असेल?
($\cos 60^0 = \frac{1}{2}$)

दिलेले :
$\theta = 60^0$
$F = 100\ N$
$W = 400\ J$, $s = ?$
$W = F\,s \cos \theta$
$400 = 100 \times s \times \frac{1}{2}$

$\frac{400}{100} = \frac{1}{2} \times s$

$4 \times 2 = s$
$\therefore\ s = 8\ m$
वस्तूचे 8 m एवढे विस्थापन होईल.

ऊर्जा (Energy)

असे का होते ?

1. रोप लावलेली कुंडी अंधारात ठेवली तर रोप कोमेजून जाते.
2. घरामध्ये टेप अथवा टीव्हीचा आवाज खूप वाढवल्यास घरातील भांडी हलतात.
3. सूर्य प्रकाशामध्ये धरलेल्या बहिर्वक्र भिंगाच्या साहाय्याने कागदावरती प्रकाश एकत्र केल्यास कागद जळतो.

पदार्थात असलेली कार्य करण्याची क्षमता म्हणजेच त्या पदार्थाची ऊर्जा होय. कार्य आणि ऊर्जेची एकके सारखीच आहेत. SI पद्धतीत एकक ज्यूल व CGS पद्धतीतील एकक **अर्ग (erg)** आहे.

ऊर्जा विविध रूपात आढळते जसे यांत्रिक, उष्णता, प्रकाश, ध्वनी, विद्युतचुंबकीय, रासायनिक, अणू, सौर इत्यादी हे तुम्ही अभ्यासले आहे. या पाठात आपण यांत्रिक ऊर्जेचे दोन प्रकार-गतिज ऊर्जा व स्थितिज ऊर्जा यांचा अभ्यास करू.

गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy)

काय घडेल ते सांगा.

1. वेगवान चेंडू स्टंपवर आदळल्यास
2. कॅरमच्या स्ट्रायकरने सोंगटीला मारल्यास
3. गोट्या खेळताना गोटी गोटीवर आदळल्यास

वरील उदाहरणावरून आपल्या लक्षात येते, की गतिमान वस्तू स्थिर वस्तूवर आदळल्यास स्थिर वस्तू गतिमान होते **'पदार्थाच्या गतिमान अवस्थेमुळे पदार्थास प्राप्त झालेल्या ऊर्जेस गतिज ऊर्जा म्हणतात.'** एखाद्या बलाने एक वस्तू s अंतरातून विस्थापित करण्यासाठी केलेले कार्य म्हणजेच त्या वस्तूने मिळवलेली गतिज ऊर्जा होय.

गतिज ऊर्जा = कार्य

$\therefore K.E. = F \times s$

गतिज ऊर्जेचे समीकरण : समजा m वस्तुमानाची एक वस्तू स्थिर अवस्थेत असून लावलेल्या बलामुळे ती गतिमान झाली. u हा तिचा आरंभिक वेग (येथे u = 0) आहे. त्या वस्तूवर F एवढे बल लावल्याने त्या वस्तूत a एवढे त्वरण निर्माण झाले व t कालावधीनंतर तिचा अंतिम वेग v झाला. या कालावधीत तिचे झालेले विस्थापन s आहे. म्हणून वस्तूवर झालेले कार्य.....

$W = F \times s$

न्यूटनच्या दुसऱ्या नियमानुसार

$F = ma$ -------- (1) तसेच न्यूटनचे गतीविषयक दुसरे समीकरण वापरून

$s = ut + \frac{1}{2} at^2$ परंतु आरंभिक वेग शून्य असल्याने $u=0$

$$s = 0 + \frac{1}{2} at^2$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 \quad ------(2)$$

$\therefore W = ma \times \frac{1}{2} at^2$------ समीकरण (1) व (2) वरून.

$$W = \frac{1}{2} m (at)^2 \quad -------(3)$$

न्यूटनच्या गतीविषयक पहिल्या समीकरणावरून.

$v = u + at$

$\therefore v = 0 + at$

$\therefore v = at$

$\therefore v^2 = (at)^2$ ------(4)

$\therefore W = \frac{1}{2} mv^2$ ------- समीकरण (3) व (4) वरून.

वस्तूने मिळवलेली गतिज ऊर्जा म्हणजेच त्या वस्तूवर झालेले कार्य होय.

$\therefore K.E. = W$

$\therefore K.E. = \frac{1}{2} mv^2$

उदाहरण : 250 ग्रॅम वस्तूमानाचा दगड उंचावरून खाली पडत असेल तर त्याचा वेग 2m/s असेल त्याक्षणी त्यामध्ये किती गतिज ऊर्जा असेल?

दिलेले : $m = 250$ g $\qquad m = 0.25$ kg

$v = 2$ m/s

$$K.E. = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.25 \times (2)^2 = 0.5 \text{ J}$$

जरा डोके चालवा.

एखाद्या गतिमान वस्तूचे वस्तुमान दुप्पट केल्यास त्या वस्तूची गतिज ऊर्जा किती पट होईल?

स्थितिज ऊर्जा (Potential Energy)

करून पहा.

1. ताणलेल्या धनुष्यातून बाण सोडला
2. उंचावर ठेवलेले पाणी खाली असलेल्या नळात आपोआप येते
3. दाबलेली स्प्रिंग सोडली

वरील उदाहरणामध्ये स्थिती दर्शवणारे शब्द कोणते? या क्रियांमध्ये वस्तू गतिमान होण्यासाठी लागणारी ऊर्जा कोठून आली?

जर वस्तू त्या स्थितीत आणल्याच नसत्या तर त्या गतिमान झाल्या असत्या का?

'पदार्थाच्या विशिष्ट स्थितीमुळे किंवा स्थानामुळे त्यात जी ऊर्जा सामावलेली असते तिला स्थितिज ऊर्जा असे म्हणतात'.

1. एक खडू जमिनीपासून साधारण 5 सेमी उंचीपर्यंत धरा व सोडून द्या.
2. आता सरळ उभे राहून तो खडू सोडून द्या.
3. दोन्ही वेळच्या निरीक्षणांमध्ये कोणता फरक दिसतो व का?

स्थितिज ऊर्जेचे समीकरण

'm' एवढ्या वस्तुमानाची वस्तू पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून 'h' एवढ्या उंचीवर नेण्यासाठी 'mg' एवढ्या बलाचा वापर गुरुत्वीय बलाच्या विरुद्ध दिशेने करावा लागतो. या वेळी घडून आलेले कार्य पुढील प्रमाणे काढता येईल.

कार्य = बल × विस्थापन

$W = mg \times h$

$\therefore W = mgh$

$\therefore$ विस्थापनामुळे वस्तूत सामावलेली स्थितिज ऊर्जा = P.E. = mgh (W = P.E.)

विस्थापनामुळे mgh एवढी स्थितिज ऊर्जा वस्तूत सामावली जाते.

उदाहरण : 10 मीटर उंच इमारतीवरील टाकीत 500 किलोग्रॅम वस्तुमानाएवढे पाणी साठवलेले असल्यास पाण्यामध्ये साठविली गेलेली स्थितिज ऊर्जा काढा.

दिलेले :

$h = 10\ m,\ m = 500\ kg\quad g = 9.8\ m/s^2$

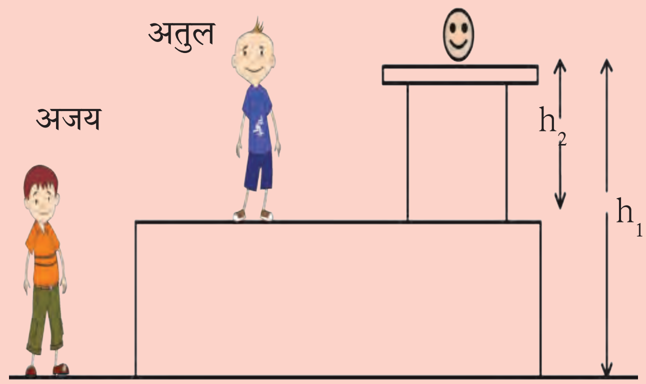
$\therefore P.E. = mgh$

$= 10 \times 9.8 \times 500$

$P.E. = 49000\ J$

अजय व अतुलला टेबलावर ठेवलेल्या m वस्तुमानाच्या चेंडूची स्थितिज ऊर्जा काढायला सांगितले आहे. त्यांची उत्तरे काय येतील? ती वेगळी असतील का? यावरून तुम्ही काय निष्कर्ष काढाल?

स्थितिज ऊर्जा ही सापेक्ष असते. अजय सापेक्ष चेंडूची उंची व अतुल सापेक्ष चेंडूची उंची वेगवेगळी आहे म्हणून अजय व अतुल सापेक्ष चेंडूची स्थितिज ऊर्जा वेगवेगळी येईल.

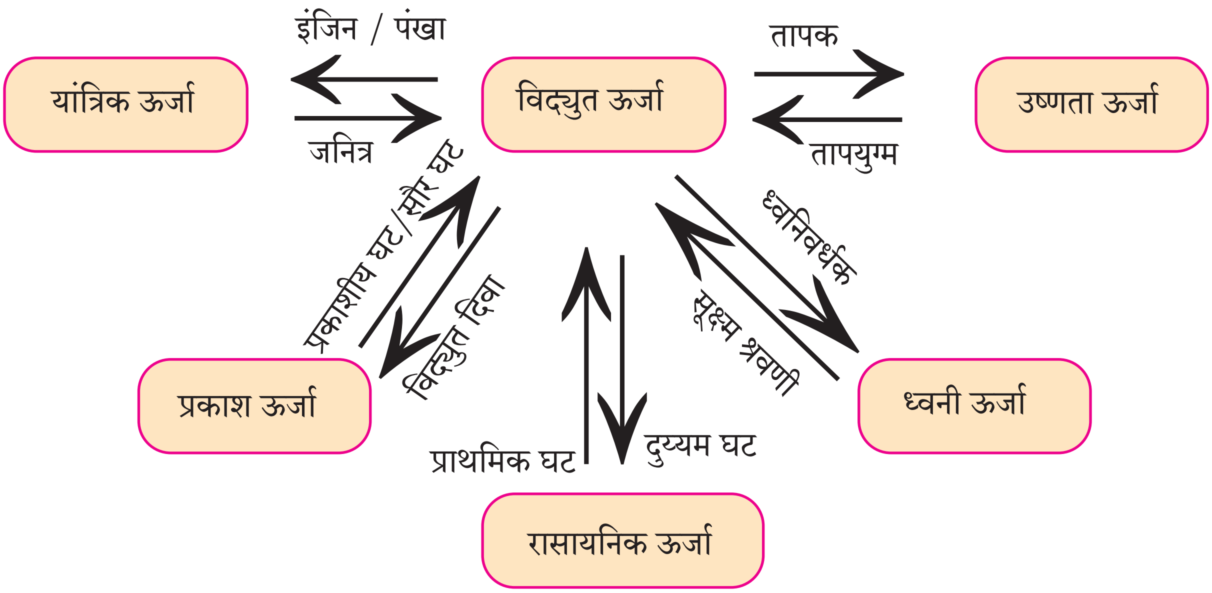


ऊर्जा रूपांतरण (Transformation of Energy)

ऊर्जेचे विविध प्रकार कोणते आहेत? खालील प्रक्रियांमध्ये कोणत्या प्रकारची ऊर्जा प्रयोगात आली आहे?

1. ताणलेला रबराचा तुकडा 2. वेगाने जाणारी मोटार 3. वाफेमुळे वाजणारी कुकरची शिट्टी 4. दिवाळीत वाजणारे फटाके 5. विजेवर चालणारा पंखा 6. चुंबक वापरून कचऱ्यातील लोखंड बाहेर काढणे. 7. जोराने आवाज झाल्यास खिडक्यांची तावदाने फुटणे.

ऊर्जेचे एका प्रकारातून दुसऱ्या प्रकारात रूपांतरण करता येते. उदाहरणार्थ दिवाळीतील फटाके उडवल्यावर त्यातील रासायनिक ऊर्जा ध्वनी, प्रकाश व उष्णता ह्या ऊर्जांमध्ये रूपांतरित होते.



2.5 ऊर्जेचे रूपांतरण

वरील आकृती 2.5 चे निरीक्षण करून ऊर्जा रूपांतरण कसे होते याची चर्चा करा व उदाहरणे सांगा.

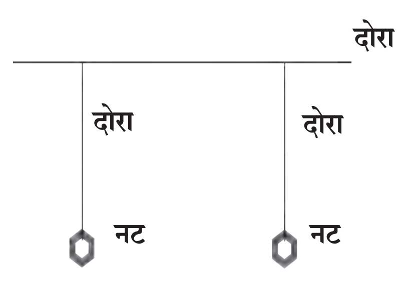
ऊर्जा अक्षय्यतेचा नियम (Law of Conservation of Energy)

'ऊर्जा निर्माण करता येत नाही आणि नष्टही करता येत नाही. तिचे एका प्रकारातून दुसऱ्या प्रकारात रूपांतर करता येते. तथापि विश्वातील एकूण ऊर्जा सदैव अक्षय्य राहते.'

दोरा व नटबोल्ट घेऊन समान उंचीचे दोन दोलक तयार करा. एक दोरा आधारकाला क्षितिजसमांतर बांधून घ्या.

तयार केलेले दोन्ही दोलक या क्षितिजसमांतर दोऱ्यास असे बांधा, की जे पुरेसे आंदोलित झाल्यावरती एकमेकांवर आदळणार नाहीत. दोन्ही दोलकांची उंची समान ठेवा. आता एका दोलकास दोलने द्या व थोडा वेळ निरीक्षण करा. काय घडते ते पाहा.

वरील कृतीचे निरीक्षण केल्यानंतर असे दिसून येईल, की पहिल्या दोलकाची दोलनगती कमी होत जाते त्याच वेळी स्थिर असलेला दोलक हळूहळू गतिमान होतो. म्हणजेच एका दोलकाची ऊर्जा दुसऱ्या दोलकास प्राप्त होते.

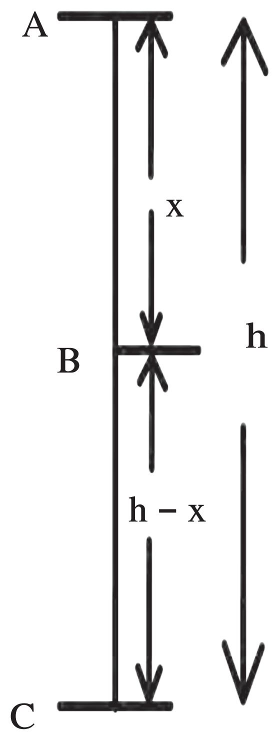


2.6 संयुक्त दोलक

मुक्तपतन (Free fall)

एखादी वस्तू उंचीवर नेऊन सोडल्यास त्या वस्तूवर असलेल्या गुरुत्वाकर्षण बलामुळे ती पृथ्वीकडे खेचली जाते. उंचावरून सोडलेली वस्तू फक्त गुरुत्वाकर्षण बलाने खाली येण्याच्या क्रियेस मुक्तपतन असे म्हणतात. m वस्तुमानाचा पदार्थ गुरुत्वाकर्षण बलामुळे h एवढ्या उंचीवरून खाली येत असताना त्याची वेगवेगळ्या उंचीवरील गतिज व स्थितिज ऊर्जा पाहू.

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे समजा A हा बिंदू जमिनीपासून h उंचीवर आहे. m वस्तुमान असलेली वस्तू A बिंदूपासून B बिंदूपर्यंत आली असता ती x एवढे अंतर जाते, C हा बिंदू जमिनीवर आहे. वस्तूची A, B व C बिंदूपाशी असणारी ऊर्जा पाहू.



2.7 मुक्तपतन

1. वस्तू A या बिंदूपाशी स्थिर असताना तिचा आरंभिक वेग u = 0

$\therefore$ K.E. = $\frac{1}{2}$ वस्तुमान x (वेग)^2

$= \frac{1}{2} mu^2$

K.E. = 0

P.E. = mgh

$\therefore$ एकूण ऊर्जा = K.E. + P.E.

= 0 + mgh

एकूण ऊर्जा (Total Energy) = mgh.--- (1)

2. वस्तू B या बिंदूपाशी असताना म्हणजे वस्तू x अंतर पार करून B पाशी येते तेव्हा तिचा वेग v_B हा मानू.

$u = 0, s = x, a = g$

$v^2 = u^2 + 2as$

$v_B^2 = 0 + 2gx$

$v_B^2 = 2gx$

$\therefore$ K.E. $= \frac{1}{2} mv_B^2 = \frac{1}{2} m(2gx)$

K.E. = mgx

B या ठिकाणी वस्तूची जमिनीपासूनची उंची = h−x

$\therefore$ P.E. = mg (h−x)

P.E. = mgh − mgx

$\therefore$ एकूण ऊर्जा T.E. = K.E. + P.E.

= mgx + mgh − mgx

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

3. वस्तू C या बिंदूपाशी असताना म्हणजेच जमिनीवर पोहचल्यावर तिचा वेग v_C होतो.

$u = 0, s = h, a = g$

$v^2 = u^2 + 2as$

$v_c^2 = 0 + 2gh$

$\therefore$ K.E. $= \frac{1}{2} mv_C^2 = \frac{1}{2} m(2gh)$

K.E. = mgh

C या बिंदूपाशी वस्तूची जमिनीपासूनची उंची h = 0

$\therefore$ P.E. = mgh = 0

$\therefore$ T.E. = K.E. + P.E

T.E. = mgh ------(3)

समीकरण (1), (2) व (3) वरून A, B व C बिंदूपाशी एकूण ऊर्जा स्थिर आहे.

म्हणजेच कोणतीही वस्तू उंचीवर असताना तिच्यात स्थितिज ऊर्जा असते. वस्तू खाली पडत असताना तिच्यातील स्थितिज ऊर्जेचे गतिज ऊर्जेत रूपांतर होत जाते. जमिनीवर पडत असताना (स्थिती 'C') पूर्ण स्थितीज ऊर्जेचे रूपांतर गतिज ऊर्जेत होते. परंतु कोणत्याही स्थितीत एकूण ऊर्जा ही उंचावरील स्थितिज ऊर्जेइतकीच असते. i.e. T.E. = P.E. + K.E. जसे,

बिंदू A वर T.E. = mgh + 0 = mgh

बिंदू B वर T.E. = mgx + mg (h-x) = mgh

बिंदू C वर T.E. = 0 + mgh = mgh

शक्ती (Power)

विचार करा व सांगा

1. तुम्ही ज्या गतीने एखादा जिना चढून जाऊ शकाल तेवढ्या गतीने तुमचे वडील जिना चढतील का?
2. गच्चीवरील पाण्याची टाकी भरण्यासाठी तुम्ही बादलीने भराल की मोटरच्या साहाय्याने?
3. समजा राजश्री, यश व रणजीत यांना एका छोट्याशा टेकडीवर जायचे आहे. राजश्री मोटारीने, यश सायकलने व रणजीत पायी गेले. जाण्यासाठी सगळ्यांनी एकच मार्ग निवडल्यास कोण अगोदर पोहोचेल व कोण शेवटी पोहोचेल?

वरील उदाहरणांचा विचार केल्यास प्रत्येक उदाहरणामध्ये घडून येणारे कार्य सारखेच आहे; परंतु ते कार्य करण्यासाठी प्रत्येकाला अथवा प्रत्येक पद्धतीला लागणारा वेळ हा वेगवेगळा आहे. कार्य जलद किंवा मंद होण्याचे प्रमाण शक्तीत व्यक्त केले जाते. **'कार्य करण्याच्या दरास शक्ती असे म्हणतात.'**

समजा, W हे कार्य t या वेळेत होत असेल तर

$$\text{शक्ती} = \frac{\text{कार्य}}{\text{काल}} \qquad P = \frac{W}{t}$$

कार्याचे SI एकक J आहे म्हणून शक्तीचे एकक J/s असे आहे. यालाच वॅट असे म्हटले जाते.

1 वॅट = 1 ज्यूल/सेकंद

औद्योगिक क्षेत्रामध्ये शक्ती मोजण्यासाठी **अश्वशक्ती (Horse Power)** या एककाचा वापर प्रचलित आहे.

1 अश्वशक्ती = 746 वॅट

व्यावहारिक उपयोगासाठी ऊर्जेचे एकक किलोवॅट तास हे आहे.

1 किलोवॅट ही शक्ती म्हणजे 1000 J प्रतिसेकंद या प्रमाणे केलेले कार्य

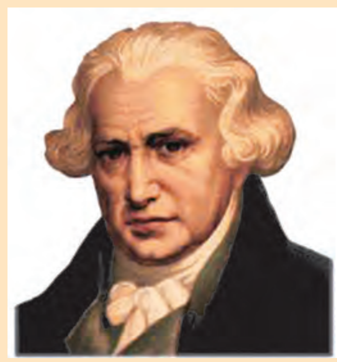
$$1 \text{ kW hr} = 1 \text{ kW} \times 1\text{hr}$$
$$= 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s}$$
$$= 3600000 \text{ J}$$

$1 \text{ kW hr} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

घरगुती उपयोगासाठी वापरली जाणारी वीज ही kW hr या एककातच मोजली जाते.

1 kW hr = 1 Unit

परिचय शास्त्रज्ञांचा



स्कॉटलंडचे वैज्ञानिक जेम्स वॅट (1736-1819) यांनी वाफेच्या इंजिनाचा शोध लावला. या शोधामुळे औद्योगिक क्रांती झाली. जेम्स वॅट यांच्या सन्मानार्थ शक्तीच्या एककाला वॅट हे नाव देण्यात आले आहे. अश्वशक्ती या शब्दाचा वापर प्रथम जेम्स वॅटनी केला होता.

सोडवलेली उदाहरणे

उदाहरण 1: स्वरालीस 20 किलो वजनाची बॅग 5 मीटर उंचीवर नेण्यास 40 सेकंद लागतात तर तिची शक्ती किती ?

दिलेले : m = 20 kg, h = 5 m, t = 40 s

∴ स्वरालीस लावावे लागलेले बल

F = mg = 20 × 9.8

F = 196 N

स्वरालीने 5 m उंचीवर बॅग उचलताना झालेले कार्य

W = F s = 196 × 5 = 980 J

$$\therefore \text{शक्ती} = (P) = \frac{W}{t} = \frac{980}{40}$$

P = 24.5 W

उदाहरण 2 : 25 W चा एक दिवा दररोज 10 तास वापरला जातो तर एका दिवसासाठी किती वीज वापरली जाते ?

दिलेले :

P = 25, W = 0.025 kW

∴ ऊर्जा = शक्ती × काल

= 0.025 × 10

ऊर्जा = 0.25 kW hr

अधिक माहितीसाठी संकेतस्थळे

www.physicscatalyst.com

www.tryscience.org

स्वाध्याय

1. सविस्तर उत्तरे लिहा.

अ. गतिज ऊर्जा व स्थितिज ऊर्जा यांमधील फरक स्पष्ट करा.

आ. पदार्थाचे वस्तुमान m असून तो v या वेगाने जात असल्यास गतिज ऊर्जेचे सूत्र तयार करा.

इ. उंचीवरून जमिनीवर मुक्तपणे पडणाऱ्या वस्तूची अंतिम ऊर्जा ही त्या वस्तूच्या प्रारंभिक स्थितिज ऊर्जेचेच रूपांतरण आहे हे सिद्ध करा.

ई. बलाच्या दिशेच्या 30^0 कोनांत विस्थापन झाले असता केलेल्या कार्याचे समीकरण काढा.

उ. एखाद्या वस्तूचा संवेग शून्य असताना वस्तूला गतिज ऊर्जा असते का ? स्पष्ट करा.

ऊ. वर्तुळाकार गतीत फिरत असलेल्या वस्तूचे कार्य शून्य का असते ?

2. खालील पर्यायातून एक वा अनेक अचूक पर्याय निवडा.

अ. कार्य घडून येण्यासाठी ऊर्जा ...... व्हावी लागते.

1. स्थानांतरित 2. अभिसारित
3. रूपांतरित 4. नष्ट

आ. ज्यूल हे एकक ..... चे आहे.

1. बल 2. कार्य
3. शक्ती 4. ऊर्जा

इ. एखादी जड वस्तू क्षितिजसमांतर दिशेने गुळगुळीत पृष्ठभागावरून ओढत असताना .... बलाची परिमाणे सारखी असतात ?

1. क्षितिज समांतर दिशेने प्रयुक्त केलेले बल
2. गुरुत्वीय बल 3. उर्ध्वगामी दिशेने असलेले प्रतिक्रिया बल 4. घर्षण बल

ई. शक्ती म्हणजे ...... होय.

1. कार्य जलद होण्याचे प्रमाण
2. कार्यासाठी लागणाऱ्या ऊर्जेचे प्रमाण
3. कार्य मंद होण्याचे प्रमाण
4. वेळेचे प्रमाण

उ. एखादी वस्तू उचलत असताना किंवा ओढत असताना ऋण कार्य ...... बलामुळे घडून येते.

1. प्रयुक्त केलेले बल 2. गुरुत्वीय बल
3. घर्षण बल 4. प्रतिक्रिया बल

3. विधानाखालील योग्य पर्याय निवडून पुढील विधाने स्पष्टीकरणासह लिहा .

अ. तुमच्या शरीराची स्थितिज ऊर्जा कमीत कमी असते, जेव्हा तुम्ही .... असता.

1. खुर्चीवर बसलेले 2. जमिनीवर बसलेले
3. जमिनीवर झोपलेले 4. जमिनीवर उभे

आ. एखादी वस्तू जमिनीवर मुक्तपणे पडत असल्यास तिची एकूण ऊर्जा...

1. कमी होते 2. स्थिर असते 3. वाढते
4. सुरुवातीस वाढते व नंतर कमी होते.

इ. सपाट पृष्ठभागावरील रस्त्याने गतीमान असलेल्या मोटारगाडीचा वेग, तिच्या मूळ वेगाच्या 4 पट वाढवल्यास मोटार गाडीची स्थितिज ऊर्जा......

1. मूळ ऊर्जेच्या दुप्पट होईल
2. बदलणार नाही
3. मूळ ऊर्जेच्या चारपट होईल
4. मूळ ऊर्जेच्या 16 पट होईल

ई. वस्तूवर घडून येणारे कार्य .... वर अवलंबून नसते.

1. विस्थापन
2. लावलेले बल
3. वस्तूचा आरंभीचा वेग
4. बल व विस्थापन यांच्या दिशेतील कोन

4. खालील कृती अभ्यासा व विचारलेल्या प्रश्नांची उत्तरे लिहा.

कृती

1. दोन वेगवेगळ्या लांबीची ॲल्युमिनियमची पन्हाळी घ्या.
2. दोन्ही पन्हाळ्याची वरील टोके समान उंचीवर ठेवा व खालील टोके जमिनीला स्पर्श करतील अशी व्यवस्था करा.
3. आता दोन समान आकारांचे आणि वजनांचे चेंडू एकाच वेळी दोन्ही पन्हाळ्यांच्या वरच्या टोकापासून सोडा. ते घरंगळत जाऊन सारखीच अंतरे पार करतील.

प्रश्न

1. चेंडू सोडण्याच्या स्थितीवेळी चेंडूमध्ये कोणती ऊर्जा असते?
2. चेंडू खाली घरंगळत येत असताना कोणत्या ऊर्जेचे कोणत्या ऊर्जेत रूपांतरण होते?
3. चेंडू घरंगळत जाऊन सारखेच अंतर का पार करतात?
4. चेंडूमध्ये असलेली अंतिम एकूण ऊर्जा ही कोणती असते?
5. वरील कृतीतून तुम्हाला ऊर्जेसंबंधी कोणता नियम सांगता येतो? स्पष्ट करा.

5. उदाहरणे सोडवा.

अ. एका विद्युत पंपाची शक्ती 2 kW आहे. तो पंप प्रति मिनिटाला किती पाणी 10 m उंचीपर्यंत उचलू शकेल? **(उत्तर : 1224.5 kg)**

आ. जर 1200 W ची इस्त्री प्रति दिवसाला 30 मिनिटाकरिता वापरली जात असेल तर एप्रिल महिन्यामध्ये इस्त्रीने एकूण वापरलेली वीज काढा. **(उत्तर : 18 Unit)**

इ. 10 m उंचीवरून जमिनीवर पडलेल्या चेंडूची ऊर्जा जमिनीवर आदळताच 40 टक्क्यांनी कमी होते तर तो किती उंचीपर्यंत उसळी घेईल? **(उत्तर : 6m)**

ई. एका मोटारीचा वेग 54 km/hr पासून 72 km/hr झाला. जर मोटारीचे वस्तुमान 1500 kg असेल तर वेग वाढविण्यासाठी किती कार्य करावे लागेल ते सांगा. **(उत्तर : 131250 J)**

उ. रवीने एका पुस्तकाला 10 N इतके बल लावले असता त्या पुस्तकाचे बलाच्या दिशेने 30 सेंमी इतके विस्थापन झाले तर रवीने केलेले कार्य काढा. **(उत्तर : 3 J)**

उपक्रम :

तुमच्या सभोवताली आढळणारी ऊर्जा रूपांतरणाची विविध उदाहरणे अभ्यासा व त्याबाबत वर्गात चर्चा करा.

F5HLIX