अध्याय–4

गति

(Motion)

गति शब्द से आप परिचित हैं। गति के कई उदाहरण हमारे दैनिक जीवन में मिलते हैं– जैसे चलना, दौड़ना, वाहनों का चलना, फल का पेड़ से गिरना, पक्षियों का उड़ना इत्यादि (चित्र–1)।

चित्र क्रमांक–1 गति के उदाहरण

यह तो हम जानते हैं कि हर पल हमारे आस–पास विभिन्न वस्तुएँ गति में हैं और हम स्वयं भी सदैव स्थिर नहीं रहते। गति अनेक क्रियाओं और परिवर्तनों का आधार है और इसके अध्ययन एवं विश्लेषण से अनेक बुनियादी सवालों का जवाब मिला है। उदाहरण के लिए ऋतु परिवर्तन समझने के लिए हमें सूर्य के चारों ओर पृथ्वी कैसे गति करती है जानना जरूरी है। एक स्थान से दूसरे स्थान तक पहुँचने में किसी वाहन को कितना समय लगता है यह भी गति की समझ दर्शाता है।

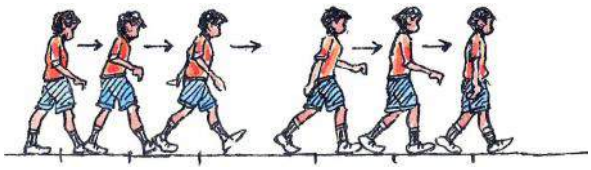
हम प्रायः यह कहते हैं कि कोई वस्तु गति में तभी है जब समय के साथ उसकी स्थिति में परिवर्तन होता है। पर क्या यह संभव है कि किसी व्यक्ति के लिए एक वस्तु गतिशील हो जबकि दूसरे के लिए वह स्थिर हो? जैसे यदि आप ट्रेन में बैठे हों तो आपको लगेगा कि अन्य बैठे यात्री स्थिर हैं और आप भी स्थिर हैं किन्तु ट्रेन के बाहर खड़े व्यक्ति के लिए ट्रेन और आप दोनों गति में हैं।

यदि आप सड़क के किनारे खड़े हैं तो आस–पास के पेड़ स्थिर दिखते हैं पर यात्रा करते समय चलती बस से वे गतिशील प्रतीत होते हैं। वस्तु गति में है या स्थिर, इस पर निर्भर करता है कि अवलोकन कौन व कहाँ से कर रहा है। इस आधार पर हम कह सकते हैं कि कोई वस्तु गतिशील तब है जब किसी अवलोकन बिंदु के सापेक्ष उसकी स्थिति में समय के साथ नियमित परिवर्तन होता है। किसी भी स्थान को अवलोकन बिंदु माना जा सकता है और इसे निर्देश बिंदु कहते हैं।

दैनिक जीवन में जिन गतियों को हम देखते हैं, उनका अध्ययन आसान नहीं है। जब कोई व्यक्ति पैदल चलता है तो उसके पैरों की गति के साथ–साथ उसके विभिन्न अंग जैसे हाथ, सिर आदि भी गति करते हैं। जब कोई वाहन चलता है तो उसके अलग–अलग पुर्जे भिन्न–भिन्न गति में होते हैं जैसे– साइकिल चलाते समय आपके पैरों की गति, पैडल की गति, चेन की गति, पहियों की गति भिन्न–भिन्न होती है।

सामान्यतः वस्तु के अलग–अलग भाग, अलग–अलग दिशा में गतिशील होते हैं और वस्तु के द्वारा तय की गई दूरी उसके आकार की तुलना में बहुत ज्यादा हो सकती है। इस स्थिति में वस्तु की रैखिक गति के अध्ययन के लिए हम दो सरलीकरण मानकर आगे बढ़ते हैं–

1. संपूर्ण वस्तु का प्रतिनिधि एक बिंदु को मान लिया जाता है और उस बिंदु की सरल रेखा में हो रही गति को ध्यान में रखा जाता है।
2. यह बिंदु हम ऐसा चुनते हैं जहाँ वस्तु का सम्पूर्ण द्रव्यमान केन्द्रित प्रतीत होता है।



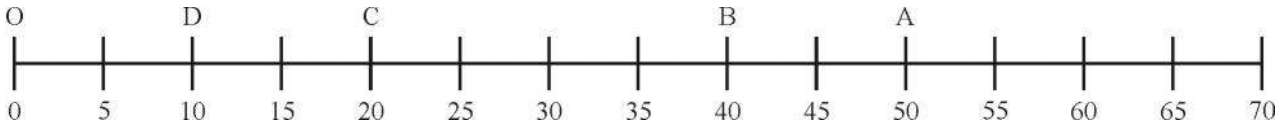
चित्र क्रमांक–2

एक सीधी रेल की पटरी पर ट्रेन की गति, ऊँचाई से गिराने पर पत्थर की गति सरल रैखिक गति के उदाहरण हैं। क्या आप इस सूची में और उदाहरण जोड़ सकते हैं?

4.1 गति का वर्णन (Description of motion)

आइए, अब हम गतिशील वस्तु के स्थिति में होने वाले परिवर्तन को देखें। एक वस्तु बिंदु O से गति प्रारंभ करती है, जिसे मूल बिंदु माना जा सकता है।

पहले वस्तु O से D, फिर D से C, फिर C से B की ओर फिर B से A तक पहुँचती है। O से A तक वस्तु द्वारा तय किए गए मार्ग की लम्बाई, OA = 50 km



फिर यह उसी पथ पर लौटती है और B से C की ओर से गुजरते हुए D तक पहुँचती है। वस्तु द्वारा तय किए गए मार्ग की लंबाई

= OA + AD

= 50 + 40 = 90 km

वस्तु द्वारा तय की गई मार्ग की कुल लंबाई, दूरी कहलाती है, जो यहाँ पर 90 km है। पर वस्तु की प्रारंभिक और अंतिम स्थिति में कितना अंतर है?

वस्तु की प्रारंभिक स्थिति = O

वस्तु की अंतिम स्थिति = D

वस्तु की अंतिम व प्रारंभिक स्थितियों का अंतर = 10 km

यहाँ वस्तु की अंतिम व प्रारंभिक स्थितियों का अंतर 10 km है। इस अंतर को विस्थापन कहते हैं। आइए, अब विस्थापन और तय की गई दूरी को थोड़ा और विस्तार से समझते हैं–

किसी वस्तु के द्वारा तय की गई दूरी को व्यक्त करने के लिए हमें केवल अंकीय मान की आवश्यकता होती है, दिशा की आवश्यकता नहीं होती है। ऐसी राशि अदिश राशि कहलाती है। राशि का अंकीय मान उसका परिमाण होता है।

किसी वस्तु के विस्थापन को व्यक्त करने के लिए हमें परिमाण के साथ–साथ उसके गति की दिशा की भी आवश्यकता होती है, ऐसी राशि सदिश राशि कहलाती है।

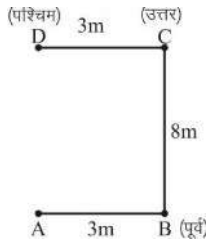
उपरोक्त उदाहरण में यदि वस्तु केवल O से A तक दूरी तय करे तो

O से A तक तय की गई दूरी = 50 km

O से A तक विस्थापन = 50 km

अतः विस्थापन व दूरी दोनों का परिमाण समान है। यदि वस्तु O से A तक जाए और पुनः O पर वापस आ जाए तो वस्तु द्वारा तय किए गए मार्ग की लंबाई = O A + A O = 50 km + 50 km = 100 km होगी। किन्तु विस्थापन शून्य है क्योंकि प्रारंभिक व अंतिम स्थिति संपाती हो जाती है। इस तरह विस्थापन शून्य भी हो सकता है, चाहे तय की गई दूरी शून्य ना भी हो। एक और उदाहरण द्वारा विस्थापन और दूरी को समझते हैं।

एक व्यक्ति पूर्व दिशा में 3 मीटर चलता है तत्पश्चात् 8 मीटर उत्तर दिशा में चलता है। वह पुनः 3 मीटर पश्चिम में चलता है (चित्र क्रमांक–3)।



चित्र क्रमांक–3

स्पष्ट है कि यहाँ तय की गई दूरी AB+BC+CD =3 m + 8 m + 3 m = 14 m है।

विस्थापन का परिमाण = AD = 8 m है और विस्थापन A के उत्तर दिशा में है।

4.1.1 चाल एवं वेग (Speed and Velocity)

क्रियाकलाप–1

दो बसों A व B की गति से संबंधित कुछ आंकड़े सारणी क्रमांक–1 में दिए गए हैं–

सारणी क्रमांक–1 : बस A व B द्वारा तय की गई दूरी

समय	बस A के द्वारा तय की गई दूरी (किलोमीटर में)	बस B के द्वारा तय की गई दूरी (किलोमीटर में)
9.00 am	10	10
9.15 am	20	18
9.30 am	30	25
9.45 am	40	33
10.00 am	50	40
10.15 am	60	52

इन आँकड़ों का अवलोकन करें। अवलोकन के पश्चात बताएँ कि–

- क्या दोनों बसों के लिए समय का अंतराल समान है?
- कौन सी बस, समान समय अंतराल में समान दूरी तय करती है?

उक्त सारणी क्रमांक–1 के अवलोकन से ज्ञात होता है कि A व B दोनों के लिए समय अंतराल समान है। बस A द्वारा समान समय अंतराल में समान दूरी 10 km तय की जा रही है। जबकि बस B द्वारा समान समय अंतराल में असमान दूरी तय की जा रही है।

किसी दी गई निश्चित दूरी को तय करने में (जैसे 30 किलोमीटर) बस A व बस B द्वारा लिया गया समय अलग–अलग है। बस A, 30 किलोमीटर दूरी 45 मिनट में तय करती है जबकि B यही दूरी 60 मिनट में। इसमें A तेज गति से चलती है और B धीमी गति से चलती है।

बस के गति की दर का पता लगाने के लिए बस द्वारा इकाई समय में तय की गई दूरी नापी जाती है। इस राशि को चाल कहते हैं और इसका मात्रक SI पद्धति में मीटर/सेकंड (m/s) है। बस की चाल का अन्य मात्रक किलोमीटर/घंटा (km/h) भी होता है।

बस की औसत चाल, बस के द्वारा तय की गई कुल दूरी और कुल समयांतराल का अनुपात होता है।

$$\text{औसत चाल} = \frac{\text{तय की गई कुल दूरी}}{\text{कुल समयांतराल}}$$

क्रियाकलाप (1) में बस A और बस B की चाल की गणना करें?

9:00 am से 9:15 am तक (अर्थात् ¼ घंटे में)

$$\text{बस A की औसत चाल} = \frac{10\ \text{km}}{1/4\ \text{h}}$$

$$= 10 \times 4\ \text{km/h}$$

$$= 40\ \text{km/h}$$

इसी प्रकार

$$\text{बस B की औसत चाल} = \frac{8\ \text{km}}{1/4\ \text{h}}$$

$$= 8 \times 4\ \text{km/h}$$

$$= 32\ \text{km/h}$$

सारणी क्रमांक–2

समय अंतराल	बस A		बस B	
	दूरी (km)	औसत चाल (km/h)	दूरी (km)	औसत चाल (km/h)
9:00-9:15 am	10	40	8	32
9:15-9:30 am	10	?	7	28
9:30-9:45 am	10	?	8	?
9:45-10:00 am	10	?	7	?
10:00-10:15 am	10	?	12	48

बस A की चाल नियत है, अतः यह समान गति कर रही है। जबकि बस B की चाल बदल रही है और वह असमान गति कर रही है। अपने दैनिक जीवन से एक समान गति और एक असमान गति (परिवर्ती गति) के उदाहरण ढूँढें।

आइए, चाल को एक उदाहरण द्वारा समझें।

उदाहरण–1 : यदि एक कार 2 घंटे में 60 किलोमीटर की दूरी तय करती है तो उसकी चाल कितनी होगी?

कुल दूरी = 60 km

समय = 2 h

$$\text{औसत चाल} = \frac{\text{तय की गई कुल दूरी}}{\text{कुल समयांतराल}}$$

$$= \frac{60}{2}$$

= 30 km/h है।

इसका अर्थ यह नहीं है कि कार पूरे समय 30 km/h की चाल से चली है। हो सकता है कि कुछ समय यह कार 30 km/h से अधिक चाल तथा कुछ समय यह 30 km/h से कम चाल से चली।

उदाहरण–2 : एक वस्तु A से B, 20 m की दूरी 10 s में तय करती है तथा B से A वापस आने में 6 s लेती है तो वस्तु की औसत चाल क्या होगी?

हल : वस्तु द्वारा तय की गई कुल दूरी = 20m + 20m = 40m

लिया गया कुल समय = 10 s + 6 s = 16 s

$$\text{औसत चाल} = \frac{\text{कुल तय की गई दूरी}}{\text{कुल समयांतराल}}$$

$$= \frac{40\text{m}}{16\text{s}} = 2.5 \text{ m/s}$$

वस्तु की औसत चाल 2.5 m/s होगी।

4.1.2 वेग (Velocity)

हम वस्तु की चाल के साथ–साथ उसकी दिशा को भी व्यक्त कर सकते हैं। वस्तु द्वारा एक निश्चित दिशा में इकाई समय में तय की गई दूरी को वेग कहते हैं। वस्तु का वेग वस्तु की चाल, गति की दिशा या दोनों में परिवर्तन के साथ परिवर्तित हो सकता है।

$$\text{वस्तु का वेग} = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समयांतराल}}$$

वेग सदिश राशि है जिसकी दिशा विस्थापन की दिशा में होती है। वेग और चाल का मात्रक समान होता है। औसत चाल और औसत वेग किसी वस्तु के दिए हुए अलग–अलग समयांतराल में अलग–अलग गति को दर्शाते हैं। यह वस्तु की क्षणिक चाल या वेग को व्यक्त नहीं करते।

उदाहरण–3 : एक कार शहर A से दूसरे शहर B तक 40 km/h की चाल से जाती है तथा वही कार 60 km/h की चाल से वापस आती है। कार की औसत चाल तथा वेग ज्ञात करें।

हल : माना कि शहर A से दूसरे शहर B तक की दूरी = x km है।

कार को A से B तक जाने में लगा समय $t_1 = \frac{x}{40}$

कार को B से A तक जाने में लगा समय $t_2 = \frac{x}{60}$

$\left(\because \text{चाल} = \frac{\text{दूरी}}{\text{समय}}, \quad \text{अतः समय} = \frac{\text{दूरी}}{\text{चाल}}\right)$

$$\text{कुल समय } t = t_1 + t_2 = \frac{x}{40} + \frac{x}{60}$$

$$= \frac{3x + 2x}{120} = \frac{5x}{120}$$

कार द्वारा तय की गई कुल दूरी $= x + x = 2x$

परन्तु कार का विस्थापन $= x - x = 0$

$$\text{औसत चाल} = \frac{\text{कुल तय की गई दूरी}}{\text{कुल समय}} = \frac{2x}{5x/120}$$

$$= \frac{2x \times 120}{5x} = \frac{240}{5} = 48 \text{ km/h}$$

$$\text{इस यात्रा में कार का वेग} = \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समयांतराल}} = \frac{x - x}{5x/120}$$

$$= \frac{0}{5x/120} \quad = \frac{0 \times 120}{5x} = 0$$

4.2 गतियों के ग्राफ (Graphs of motion)

अब तक हमने औसत चाल और वेग की बात की है। पर क्या हम किसी वस्तु की तात्क्षणिक चाल अथवा वेग पता कर सकते हैं? आइए, इसे ग्राफ द्वारा समझते हैं–

अपूर्वा के घर से विद्यालय तक की यात्रा के आँकड़े सारणी क्रमांक–3 में दिए गए हैं।

सारणी क्रमांक–3 : अपूर्वा के घर से विद्यालय तक की दूरी व समय

समय (मिनट)	2	4	6	8	10	12
दूरी (मीटर)	12	24	36	48	60	72

अपने ग्राफ कागज पर x अक्ष पर समय और y अक्ष पर दूरी रखें और उनके पैमाने तय करें। पैमाने को ग्राफ के ऊपर दाएं कोने पर लिख लें। अब इन आंकड़ों के अनुसार बिन्दु अंकित करें। इन सभी बिन्दुओं को जोड़ने वाली सरल रेखा स्केल (पैमाने) की सहायता से खींचें। (चित्र क्र. 4)

यह ग्राफ अपूर्वा के घर से स्कूल तक की यात्रा का ग्राफ है। याद रखें यह बनाया गया ग्राफ और इस अध्याय के आगे के सारे ग्राफ तय की गई दूरी व समय के ग्राफ हैं, न कि यात्रा के रास्ते के।

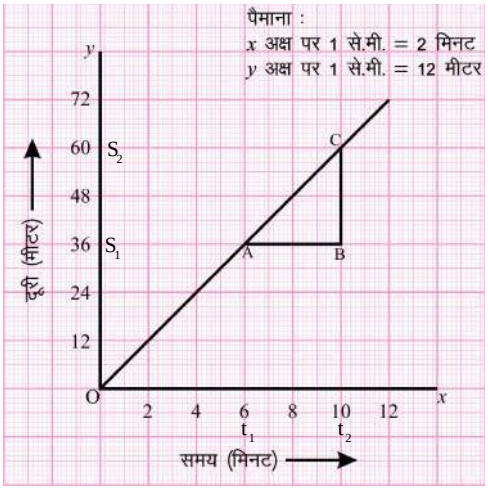
अब इस ग्राफ से बताएँ–

- अपूर्वा ने पहले दो मिनट में कितनी दूरी तय की?
- अपूर्वा ने दूसरे दो मिनट में कितनी दूरी तय की?
- अपूर्वा ने 10 से 12 मिनट में कितनी दूरी तय की?
- क्या ये सभी दूरियाँ बराबर हैं?

जब कोई वस्तु समान समयांतराल में समान दूरी तय करती है तो उसकी गति एक समान गति कहलाती है और ऐसी गति के लिए दूरी और समय का ग्राफ एक सरल रेखा में होता है।

घर से विद्यालय तक पहुँचने में अपूर्वा की चाल क्या थी? ग्राफ से यह कैसे ज्ञात होगी, समझते हैं–

ऐसा करने के लिए, दूरी–समय ग्राफ (चित्र–4) में एक बिंदु A लें। बिंदु A से *x* अक्ष के समानान्तर एक रेखा AB तथा बिंदु B से y अक्ष के समानांतर एक रेखा खींचें, जो बिंदु C पर मिलती है और इस प्रकार एक त्रिभुज ABC बनाती है। अब ग्राफ पर रेखा AB, समयांतराल $(t_2–t_1)$ को बताता है जबकि रेखा BC, दूरी $(s_2–s_1)$ को बताता है। हम ग्राफ से देख सकते हैं कि वस्तु A से B बिंदु तक जाने में $(t_2–t_1)$ समय में $(s_2–s_1)$ दूरी तय करती है। अतः वस्तु की चाल निम्न प्रकार से व्यक्त की जा सकती है :



ग्राफ चित्र क्रमांक–4 : एक समान गति का ग्राफ

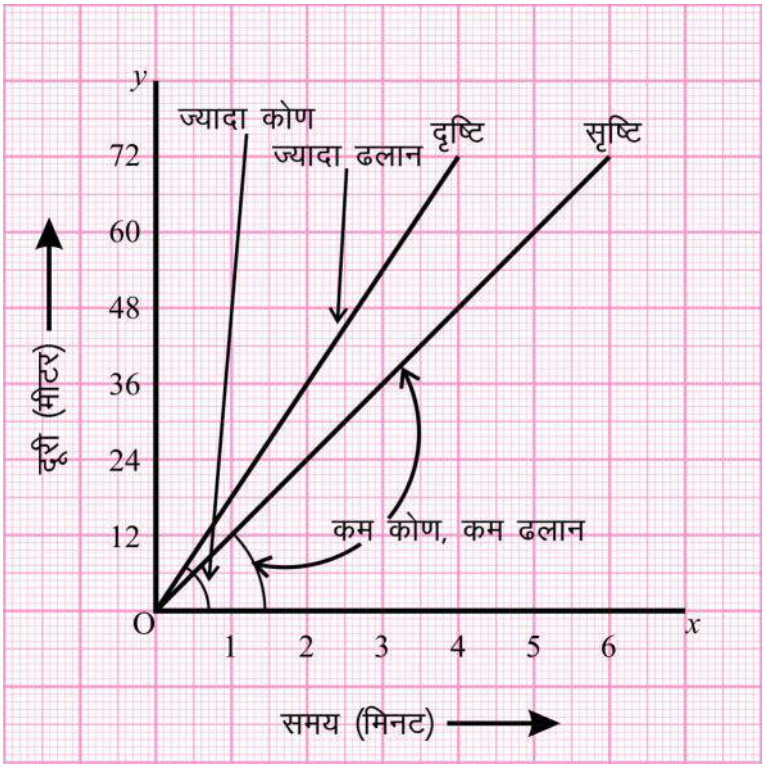
$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

यदि हमें किसी क्षण वस्तु की चाल क्या है, जानना हो तो हम उस बिंदु पर ग्राफ की ढाल नापकर यह पता कर सकते हैं।

4.2.1 अलग–अलग चाल वाली एक समान गति

दृष्टि और सृष्टि ने घर से विद्यालय तक दौड़ लगाई। दोनों एक समान गति से दौड़े लेकिन दोनों की चाल अलग–अलग थी। दोनों की गति को चित्र–5 में दिखाया गया है।

- क्या ग्राफ एक समान गति के हैं अथवा असमान गति के हैं?
- ग्राफ को देखकर अंक पढ़े बिना बताएँ कि दृष्टि और सृष्टि में किसकी चाल ज्यादा थी।
- ग्राफ की सहायता से सृष्टि और दृष्टि के चाल की गणना करें।
- दृष्टि और सृष्टि के चाल की तुलना करके बताएँ कि आपने जो बिना अंक पढ़े उत्तर निकाला है वह सही है या नहीं।



ग्राफ चित्र क्रमांक–5 : दृष्टि और सृष्टि का गति का ग्राफ

दो एक समान गति के ग्राफ में किसकी चाल ज्यादा है, यह हम उनकी रेखा के ढलान से पता कर सकते हैं। ढलान पता करने के लिए हम मूल बिंदु से बना सरल रेखा का कोण देखते हैं। जिसका कोण कम होगा उस सरल रेखा की ढलान एवं उस व्यक्ति की चाल कम होगी। ग्राफ (चित्र–5) से देखकर बताएँ कि दृष्टि और सृष्टि में से किसकी गति के ग्राफ की ढलान अधिक है? क्या उसकी चाल भी अधिक है?

ध्यान रहे कि इस तरह से चालों की तुलना केवल उन ग्राफों को देखकर ही की जा सकती है जिसका पैमाना एक जैसा ही है। अलग–अलग पैमाने से बनाए गए ग्राफों की तुलना केवल देखकर नहीं की जा सकती।

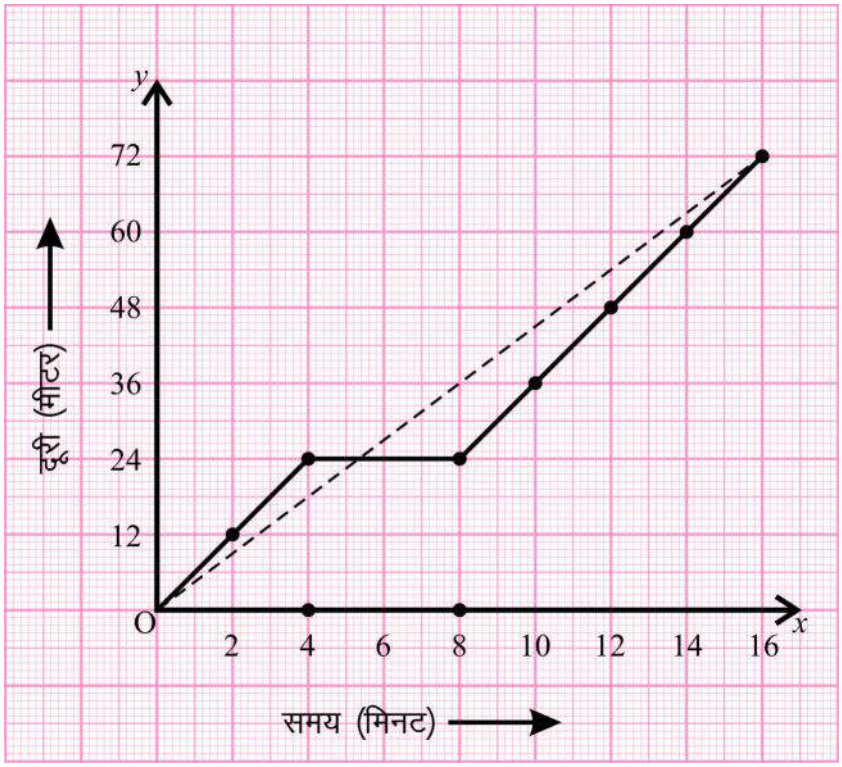
4.2.2. रुकने का ग्राफ (Graphs of halts)

मान लो कि विद्यालय के रास्ते में अपूर्वा को किसी कारण से 4 मिनट चलने के बाद 4 मिनट रुकना पड़ा, उसके बाद वह एक समान गति से चलकर विद्यालय पहुँच गई। उसके विद्यालय पहुँचने तक की गति का ग्राफ (चित्र–6) में दिखाया गया है।

जब अपूर्वा पहले चार मिनट के बाद रुकी तो वह 24 मीटर की दूरी तय कर चुकी थी। अब अगले 4 मिनट तक अपूर्वा रुकी रही है। इस दौरान समय तो बढ़कर 8 मिनट हो गया पर उसके द्वारा तय की गई दूरी अभी भी 24 मीटर ही है। इसलिए ग्राफ पर अगला बिन्दु 8 मिनट व 24 मीटर पर लगा।

जब कोई भी वस्तु किसी स्थान पर पहुँच कर रुक जाती है तो समय तो बीतता जाता है परन्तु दूरी नहीं बदलती है। इसलिए जैसा कि हमने अभी देखा कि रुके हुए हिस्से में ग्राफ, समय अक्ष के समानांतर हो जाता है।

अब चित्र–6 का ग्राफ देखकर बताएँ कि इस प्रकार की गति में अपूर्वा की औसत चाल क्या थी? जब अपूर्वा बिना रुके स्कूल पहुँची तब उसकी औसत चाल क्या थी? (ग्राफ चित्र–4 व सारणी क्रमांक–3 देखकर बताएँ)



ग्राफ चित्र क्रमांक–6 : अपूर्वा के रुकने का ग्राफ

इन दोनों औसत चालों में कितना अंतर है?

इस अंतर का कारण बताएँ?

प्रश्न : अनामिका की यात्रा के आंकड़े सारणी क्रमांक–4 में दिए गए हैं।

सारणी क्रमांक–4 : अनामिका की यात्रा के आंकड़े

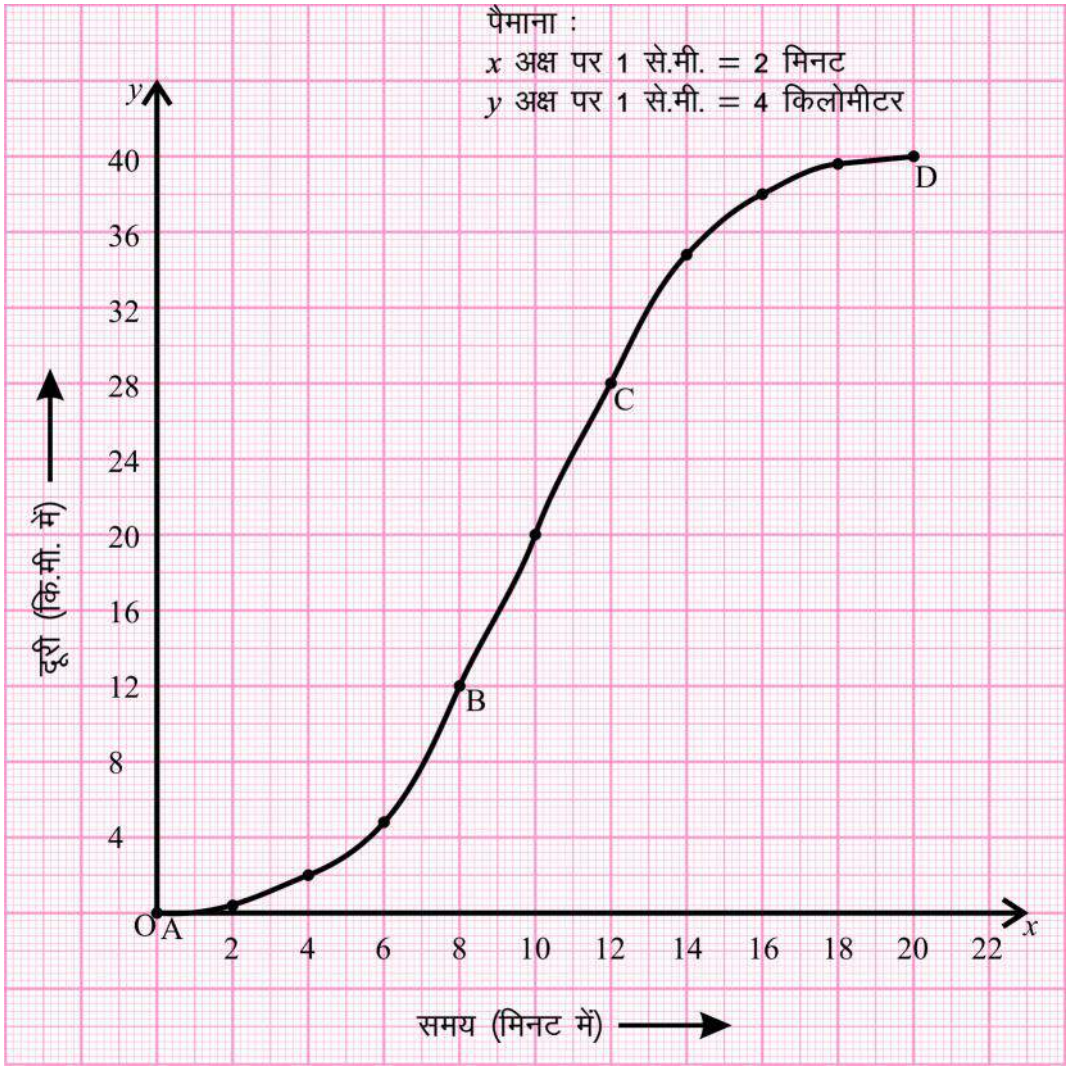
समय (मिनट में)	2	4	6	8	10	12	14	16
तय की गई दूरी (मीटर)	6	12	24	36	36	36	45	54

इन आंकड़ों के आधार पर अनामिका की गति का ग्राफ खींचें और उसकी औसत चाल ज्ञात करें। बताएँ कि–

- यात्रा के किस हिस्से में उसकी चाल सबसे अधिक रहेगी?
- क्या वह रास्ते में रुकी? यदि हाँ तो कितने समय के लिए।

4.2.3 असमान गति का ग्राफ (Graphs for non-uniform motion)

अभी तक हमने केवल एक समान गतियों के बारे में जाना है। अब हम ऐसी गतियों के बारे में जानेंगे जो एक समान नहीं है। स्टेशन से छूटती हुई या स्टेशन पर रुकती हुई बसें आपने देखी होंगी। स्टेशन से छूटने पर क्या बस की गति एक समान रहती है? **ऐसी गति को जिसमें चाल बढ़ रही हो या घट रही हो, असमान गति कहते हैं।**



ग्राफ चित्र क्रमांक–7 : गाड़ी की गति का ग्राफ

सारणी क्रमांक–5 : बस द्वारा तय की गई दूरी

समय (मिनट)	तय की गई दूरी (किमी)
0 से 4	2 km
4 से 8	10 km
8 से 12	————————
12 से 16	————————
16 से 20	————————

चित्र क्रमांक–7 में दिए गए ग्राफ को देखकर ऊपर दी गई सारणी भरें और इन प्रश्नों के उत्तर दें।

- अब बताएँ कि क्या बस ने समान समय में समान दूरियाँ तय की?
- ग्राफ का कौन सा भाग बस की बदलती गति को तथा ग्राफ का कौन सा भाग बस की एक समान गति को बताता है? किस खंड में बस रुकी हुई थी।

ग्राफ के एक समान गति व बदलती गति के खंड़ों को ध्यान से देखें। इनमें आपको क्या कोई विशेष अंतर दिखता है?

गति के ग्राफ का वक्र होना यह दिखाता है कि उस खंड में गति लगातार बदल रही है। ग्राफ के AB खंड को ध्यान से देखिए। इस खंड में बस के स्टेशन से छूटने के बाद उसकी चाल बढ़ रही है।

प्रश्न

1 चाल एवं वेग में अंतर लिखें।

2. किस स्थिति में किसी वस्तु के औसत चाल व वेग का परिमाण बराबर होगा?

3 एक समान गति के लिए वेग समय ग्राफ खींचें।

TM4S1H

4.2.4 त्वरण (Acceleration)

आप रेसिंग कार और सड़क पर चलने वाली कार में सामान्यतः क्या अंतर देख पाते हैं?

एक मुख्य अंतर यह है कि रेसिंग कार की चाल बहुत ज्यादा होती है।

दूसरा मुख्य अंतर यह है कि रेसिंग कार का पिक–अप ज्यादा होता है। पिक–अप यह बताता है कि कार की चाल कितनी तेजी से बढ़ रही है। इसके लिए एक तकनीकी शब्द ''त्वरण'' का प्रयोग किया जाता है।

सारणी क्रमांक–1 की मदद से बस A व B के वेग की गणना करें व दी गई सारणी क्रमांक–6 को पूर्ण करें।

(सारणी क्रमांक–1 में दी गई दूरी को मीटर तथा समय को सेकण्ड में बदलकर वेग की गणना करें)

सारणी क्रमांक–6 (बस A व B का वेग परिकलन)

समय	बस A का वेग (मीटर/सेकण्ड)	बस B का वेग (मीटर/सेकण्ड)
9.00	----------	----------
9.15	$\frac{(20-10)\times 1000}{(15)\times 60}=\frac{10\times 1000}{900}=11.11$	$\frac{(18-10)\times 1000}{15\times 60}=\frac{8000}{900}=8.89$
9.30	---------- = 11.11	----------
9.45	---------- = 11.11	----------
10.00	---------- = 11.11	----------
10.15	----------	$\frac{(52-40)\times 1000}{15\times 60}=\frac{12000}{900}=13.33$

सारणी क्रमांक–6 में हम पाते हैं कि बस A की गति के दौरान वेग में परिवर्तन शून्य तथा समान समय–अंतराल में वेग नियत है। परंतु बस B की गति के दौरान विभिन्न समय में वेग में परिवर्तन हो रहा है। अतः अब हमें बस के वेग में परिवर्तन को व्यक्त करने के लिए एक नई राशि के बारे में जानना होगा। **बस के वेग में परिवर्तन की दर त्वरण कहलाती है।**

$$\text{त्वरण} = \frac{\text{वेग में परिवर्तन}}{\text{समय अंतराल}}$$

यदि एक वस्तु u वेग से चल रही है और t समय में उसका वेग v हो जाता है तो त्वरण

$$a = \frac{v-u}{t}$$

त्वरण को संकेत a से दर्शाते हैं। इसका SI मात्रक मीटर/सेकंड² (m/s^2) होता है। जब समय के साथ वस्तु का वेग बढ़ता है तो उसमें उत्पन्न त्वरण को धनात्मक त्वरण और जब समय के साथ वस्तु का वेग घटता है तो उसके त्वरण को ऋणात्मक त्वरण कहते हैं। ऋणात्मक त्वरण मन्दन कहलाता है, इसे $-a$ से प्रदर्शित करते हैं।

जब समय के साथ वेग में परिवर्तन समान होता है तो उसे एकसमान त्वरित गति कहते हैं तथा इसका त्वरण नियत रहता है।

क्रियाकलाप–2

एक वस्तु द्वारा 2 सेकंड के समय अंतराल में तय की गई दूरी निम्नानुसार है। उसका वेग व त्वरण की गणना करें व सारणी क्रमांक–7 की पूर्ति करें।

सारणी क्रमांक–7 : वस्तु का वेग व त्वरण

समय (सेकंड में)	दूरी (मीटर में)	वेग (मीटर / सेकंड)	त्वरण (मीटर / सेकंड²)
0	0	.....	.....
2	1	$\frac{1-0}{2-0}=\frac{1}{2}=0.5$	$\frac{1.5-0.5}{4-2}=\frac{1}{2}=0.5$
4	4	$\frac{4-1}{4-2}=\frac{3}{2}=1.5$	?
6	9	.....	.....
8	16	.....	.....
10	25	.....	.....

सारणी क्रमांक–7 में आप पाते हैं कि प्रत्येक समय पर त्वरण समान है (अर्थात समान समय अंतराल में वेग में परिवर्तन समान है)। अतः वस्तु की गति एक समान त्वरित गति होगी।

इस तालिका को पूर्ण कर एक समान त्वरित गति की दूरी–समय, वेग –समय, व त्वरण–समय के बीच ग्राफ खींचें।

एक समान त्वरित गति में त्वरण समय के साथ नियत रहता है अतः त्वरण–समय ग्राफ, समय अक्ष के समानांतर सरल रेखा होती है। (चित्र–8)

त्वरण–समय ग्राफ का 4–8 s के समयांतराल के लिए समय अक्ष पर घिरा क्षेत्रफल

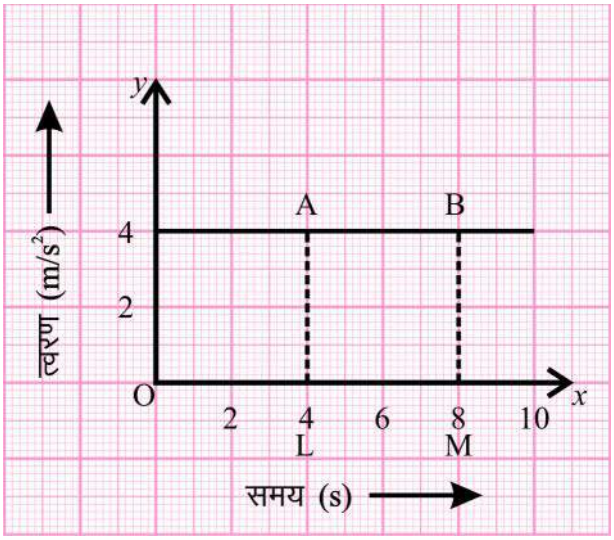
= आयत ABML का क्षेत्रफल

= $AL \times LM$

= $4\ m/s^2 \times (8 - 4)s$

= $4\ m/s^2 \times 4\ s$

= $16\ m/s$



ग्राफ चित्र क्रमांक–8 :
एक समान त्वरित गति का त्वरण समय ग्राफ

इस तरह त्वरण–समय ग्राफ का समय अक्ष पर, घिरे क्षेत्रफल से हम वेग ज्ञात कर सकते हैं।

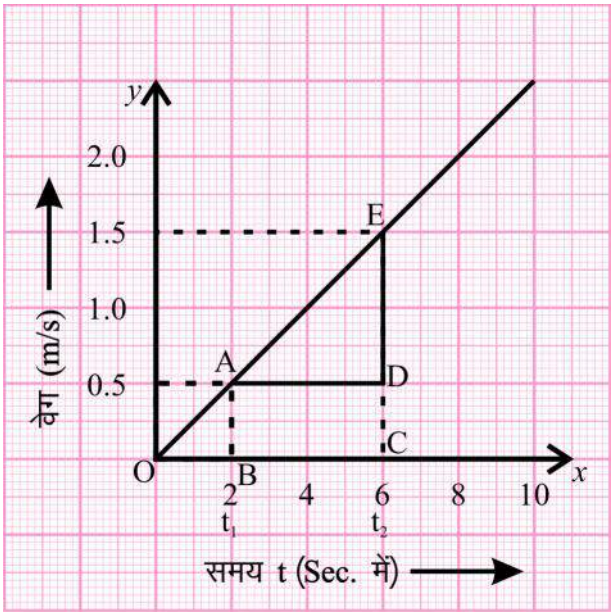
आइए, एक समान त्वरित गति में वेग–समय ग्राफ को देखें।

ग्राफ से , t_1= 2s में u = 0.5 m/s

t_2 = 6s में v=1.5 m/s

त्वरण $= \frac{v-u}{t_2-t_1} = \frac{1.5-0.5}{6-2} = \frac{1}{4} = 0.25 m/s^2$

हम जानते हैं कि वेग $= \frac{\text{विस्थापन}}{\text{समय}}$ अर्थात एक समान वेग से चल रही वस्तु के वेग एवं समय के गुणनफल से विस्थापन प्राप्त किया जा सकता है। चित्र क्रमांक–9 में ग्राफ में दर्शाए गए क्षेत्र ABCDE का क्षेत्रफल दिए गए समयांतराल में विस्थापन (s) को दर्शाएगा।



ग्राफ चित्र क्रमांक–9 : एक समान त्वरित गति का वेग–समय ग्राफ

अर्थात् s = ABCDE का क्षेत्रफल

= आयत ABCD का क्षेत्रफल + त्रिभुज ADE का क्षेत्रफल

$= (AB \times BC) + \frac{1}{2} \times (AD \times DE))$

s = $(0.5 \times 4) + \frac{1}{2} \times (4 \times 1)$

$= 2 + \frac{1}{2} \times 4$

= 2+2

= 4 m

वेग–समय ग्राफ का समय अक्ष से घिरा क्षेत्रफल विस्थापन के परिमाण को बताता है।

4.3 गति के समीकरण (Equation of motion)

जब कोई वस्तु एक समान त्वरित गति से गति करती है तो एक निश्चित समय अंतराल (t) में वस्तु के वेग (v), त्वरण (a) तथा तय की गई दूरी (s) में संबंध स्थापित करना संभव है। इसे गति के समीकरण के नाम से जाना जाता है।

$$v = u + at \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

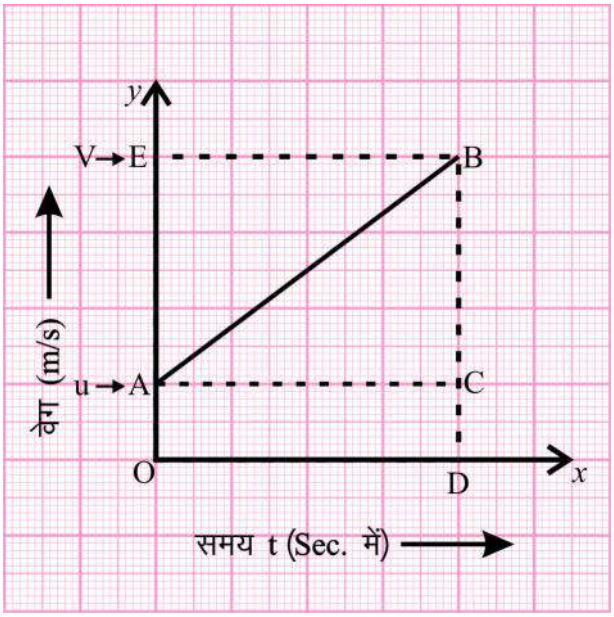
$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$v^2 = u^2 + 2as \ldots\ldots\ldots (3)$$

एक समान त्वरित गति में वेग समय संबंध

चित्र–9 में हमने समान त्वरित गति का वेग–समय ग्राफ देखा। ऐसा ही एक और ग्राफ चित्र क्रमांक–10 में दिखाया गया है।

ग्राफ में यह पता चल रहा है कि वस्तु का प्रारंभिक वेग u है जो t समय में बढ़कर v हो गया है। बिन्दु A पर वस्तु का प्रारंभिक वेग u है और बिन्दु B पर वस्तु का अंतिम वेग v है (ग्राफ चित्र क्रमांक–10 से)।



ग्राफ चित्र क्रमांक–10

$BC = v - u$ .....(i)

हम जानते हैं कि त्वरण, $a = \frac{BC}{AC} = \frac{BC}{OD}$

$$a = \frac{v - u}{t}$$

$at = v - u$ .....(ii)

$v = u + at$ यह गति का प्रथम समीकरण है।

एक समान त्वरित गति में स्थिति समय संबंध

(a) एक समान त्वरित गति में वेग समय ग्राफ का समय अक्ष से घिरा क्षेत्रफल निकालते हैं जो कि विस्थापन के परिमाण, s के बराबर होता है।

ग्राफ से, s = आकृति OABD का क्षेत्रफल

s = आयत OACD का क्षेत्रफल + त्रिभुज ABC का क्षेत्रफल

$= (OA \times OD) + \frac{1}{2}(AC \times BC)$

$= ut + \frac{1}{2}(OD \times BC)$ समी. (i) व चित्र क्रमांक–10 से

$= ut + \frac{1}{2}t(v - u)$

$= ut + \frac{1}{2}(v-u)t$

$= ut + \frac{1}{2}at.t$ समीकरण (ii) से

$s = ut + \frac{1}{2}at^2$ यह गति का द्वितीय समीकरण है।

हम एक और तरीके से s ज्ञात कर सकते हैं।

(b) ($\because$ OABDएक समलम्ब चतुर्भुज है।) अतः

$s =$ समलंब चर्तुभुज OABD का क्षेत्रफल

$s = \frac{1}{2} \times$ (चर्तुभुज की समानांतर भुजाओं का योगफल) × ऊँचाई

$s = \frac{1}{2}(OA + BD) \times OD$ चित्र क्रमांक–10 से

$s = \frac{1}{2}(u+v) \times t$ समीकरण (ii) से t का मान रखने पर

$s = \frac{1}{2}(v+u) \times \left(\frac{v-u}{a}\right)$

$s = \frac{v^2-u^2}{2a}$

$v^2 - u^2 = 2as$ यह गति का तृतीय समीकरण है।

इस प्रकार गति के तीनों समीकरण निम्नलिखित हैं–

$v = u + at$

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

$v^2 - u^2 = 2as$

उदाहरण–4 : एक पिंड 4 मीटर/सेकंड के वेग से गतिशील है। यदि उसका त्वरण 2 m/s^2 हो तो 5 s पश्चात् उसका वेग तथा उसके द्वारा तय की गई दूरी ज्ञात करें।

हल : दिया है –

पिंड का वेग $u = 4\ m/s$

त्वरण $a = 2\ m/s^2$

अंतिम वेग $v = ?$ तथा तय की गई दूरी $s = ?$

समय $t = 5\ s$

गति के पहले समीकरण से, $v = u + at$

$= 4 + 2\times5$

$= 4 + 10$

$= 14\ m/s$

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

$= 4\times5+\frac{1}{2}\times2\times(5)^2$

$= 20+\frac{1}{2}\times2\times25$

$= 20 + 25$

$= 45\ m$

अतः 5s समय पश्चात उसका वेग 14 m/s तथा तय की दूरी 45 m होगी।

उदाहरण–5 : एक कार 4 m/s^2 की एक समान त्वरण से गतिमान है, तो गति प्रारंभ करने के 10 s बाद वह कितनी दूरी तय करेगी?

हल : त्वरण $a = 4\ m/s^2$

प्रारंभिक वेग $u = 0$

समय $t = 10\ s$

दूरी $s = ?$

हम जानते हैं, कि $s = ut + 1/2\ at^2$

$s = (0 \times 5) + \frac{1}{2} \times (4) \times (10)^2$

$s = 0 + \frac{1}{2} \times 4 \times 100$

$s = 200\ m$

अतः कार द्वारा तय की गई दूरी 200 m होगी।

उदाहरण–6 : एक गाड़ी 36 km/h की एक समान चाल से चल रही है। जब उसमें ब्रेक लगाया जाता है तो 0.5 m/s² का मंदन उत्पन्न हो जाता है। गाड़ी ने रुकने के पहले कितनी दूरी तय की होगी?

हल : दिया है,

गाड़ी का प्रारंभिक वेग $u = 36\ km/h$

$$u = \frac{36 \times 1000}{60 \times 60}\ m/s$$

$$u = 10\ m/s$$

मंदन $a = -0.5\ m/s^2$ (यहाँ ऋणात्मक चिन्ह मंदन को दर्शाता है।)

अंतिम वेग $v = 0$

चली गई दूरी $s = ?$

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

$$(0)^2 = (10)^2 + 2 \times (-0.5) \times s$$

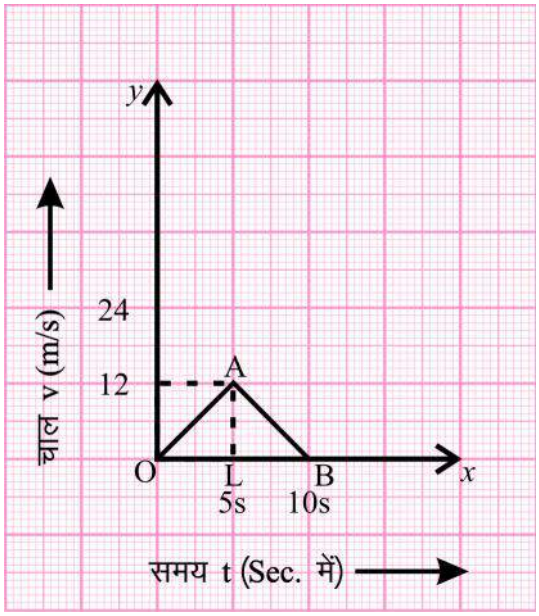
$$0 = 100 - 1s$$

$$1s = 100$$

$$s = 100\ m$$

इस तरह गाड़ी द्वारा तय की गई दूरी = 100 m होगी।

उदाहरण–7 : किसी निश्चित दिशा में चल रहे कण की चाल–समय ग्राफ नीचे चित्र में प्रदर्शित है–



ग्राफ चित्र क्रमांक–11 : चाल–समय ग्राफ

0 से 10 s में चली गई दूरी तथा कण की औसत चाल ज्ञात करें।

हल : (i) s = 0 से 10s में चली गई दूरी

= चाल–समय ग्राफ में चाल–समय अक्ष से घिरा क्षेत्रफल

= ΔOAB का क्षेत्रफल

= $\frac{1}{2}$ आधार × ऊँचाई = $\frac{1}{2} OB \times AL$

= $\frac{1}{2} \times 10 \times 12$

= 60 m

(ii) 0 से 10s में कण की औसत चाल = $\frac{\text{तय की गई दूरी}}{\text{कुल समय}}$

= $\frac{60}{(10-0)} = \frac{60}{10} = 6$ m/s

प्रश्न

1. एक समान मंदन में वेग समय ग्राफ खींचें।
2. कोई कार एक समान रूप से त्वरित होकर 18 km/h से अपना वेग 36 km/h, 5s में कर लेती है तो उसका त्वरण तथा उसके द्वारा तय की गई दूरी ज्ञात करें।

4.4 वृत्तीय गति (Circular motion)

हम जानते हैं कि जब किसी वस्तु की गति त्वरित होती है तो उसके वेग में परिवर्तन होता है। यह वेग में परिवर्तन किस–किस तरह से हो सकता है? वेग परिवर्तन की तीन स्थितियाँ संभव हैं–

(1) वेग के परिमाण में परिवर्तन हो पर गति की दिशा नियत हो।

(2) वेग का परिमाण नियत किंतु दिशा में परिवर्तन हो।

(3) वेग के परिमाण और वस्तु के गति की दिशा, दोनों में परिवर्तन हो।

अब क्या आप एक ऐसी वृत्तीय गति का उदाहरण सोच सकते हैं जिसमें एक समान गति में वस्तु के वेग का परिमाण नियत हो परंतु उसकी गति की दिशा में निरंतर परिवर्तन हो रहा हो?

नीचे कुछ उदाहरण दिए गए हैं। बताएँ, वेग की दिशा और परिमाण में क्या परिवर्तन हो रहा है?

(i) धावक का वृत्तीय मार्ग पर दौड़ना (ii) पंखे का घूमना (iii) घड़ी की सुइयों का घूमना

वृत्तीय गति के अनुभव, आप वृत्तीय झूले, हवाई झूले में भी करते हैं। वृत्तीय गति के ऐसे अन्य उदाहरण दैनिक जीवन में ढूँढें।

हमने सीखा

- गति समय के साथ वस्तु की स्थिति में परिवर्तन है। इसकी व्याख्या तय की गई दूरी या विस्थापन के रूप में की जाती है।
- वस्तु द्वारा तय किए गए मार्ग की लंबाई दूरी कहलाती है। यह एक अदिश राशि है। SI पद्धति में इसका मात्रक मीटर (m) है।
- वस्तु की किन्हीं दो स्थितियों का अंतर उसका विस्थापन कहलाता है। यह एक सदिश राशि है। SI पद्धति में इसका मात्रक मीटर (m) है।
- विस्थापन तय किए गए मार्ग पर निर्भर नहीं है जबकि दूरी तय किए गए मार्ग पर निर्भर है।
- प्रति इकाई समय में तय की गई दूरी चाल कहलाती है। इसका SI मात्रक मीटर/सेकंड (m/s)है।
- विस्थापन के परिवर्तन की दर वेग कहलाती है। इसे इकाई समय में वस्तु द्वारा एक निश्चित दिशा में तय की गई दूरी के नाम से जाना जाता है। इसका मात्रक मीटर/सेकंड (m/s) है।
- जब कोई वस्तु समान समय में समान दूरी तय करती है तो उसकी गति एक समान गति कहलाती है।
- एक समान गति में वेग समय ग्राफ समय अक्ष के समानांतर सरल रेखा होती है।
- किसी वस्तु के वेग परिवर्तन की दर त्वरण कहलाती है। यह एक सदिश राशि है। इसका SI पद्धति में मात्रक मीटर/सेकंड^2 (m/s^2) होता है।
- एक समान त्वरित गति में त्वरण–समय ग्राफ समय अक्ष के समानांतर सरल रेखा होती है।
- एक समान त्वरित गति में वेग–समय ग्राफ का समय अक्ष से झुकाव त्वरण कहलाता है।
- जब कोई वस्तु वृत्तीय पथ पर एक समान चाल से चलती है तो उसकी गति एक समान वृत्तीय गति कहलाती है।

मुख्य शब्द (Keywords)

दूरी (distance), विस्थापन (displacement), चाल (speed), वेग (velocity), त्वरण (acceleration) मंदन (retardation or deaccelearation), एक समान वृत्तीय गति (uniform circular motion)

अभ्यास

1. सही विकल्प चुनकर लिखें –

(i) यदि किसी पिण्ड द्वारा चली गई दूरी $s = at + \frac{1}{2}bt^2$ है तो पिण्ड का त्वरण होगा–

(अ) a (ब) b (स) 2 b (द) a + b

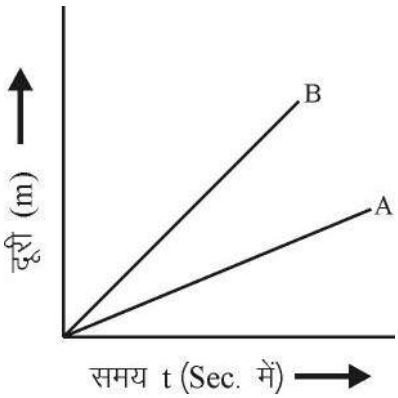
(ii) वेग समय ग्राफ का समय अक्ष से घिरा क्षेत्रफल जिस भौतिक राशि को व्यक्त करता है, उसका मात्रक है –

(अ) m (ब) m/s (स) m/s^2 (द) इनमें से कोई नहीं

(iii) नीचे वस्तु A व B का स्थिति समय ग्राफ दिया है। बताएँ किस वस्तु का वेग अधिक है?

(अ) A (ब) B

(स) A और B (द) इनमें से कोई नहीं



(iv) बताएँ कि निम्न से से कौन सा उदाहरण एक समान वृत्तीय गति का है–

(अ) पृथ्वी की सूर्य के चारों ओर गति

(ब) खिलौना ट्रेन की रेखीय मार्ग पर गति

(स) घड़ी के सेकंड कांटे की गति

(द) वृत्तीय मार्ग पर रेसिंग कार की गति

2. रिक्त स्थान की पूर्ति करें–

(i) एक पिंड नियत वेग से चल रहा है उसका त्वरण ..... होगा।

(ii) वस्तु के वेग की दिशा ..... से निर्धारित होती है।

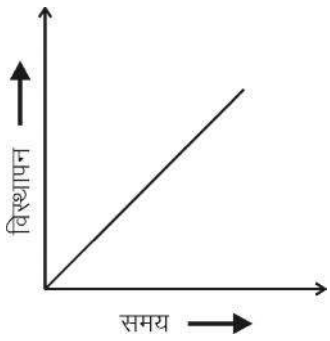
(iii) एक वस्तु की चाल 72km/h है उसकी चाल ..... m/s होगी।

(iv) एक व्यक्ति 2m त्रिज्या के वृत्ताकार मार्ग का एक चक्कर 2 सेकंड में लगाता है तो 8 सेकंड बाद उसका विस्थापन ..... होगा।

3. एक समान वृत्तीय गति किसे कहते हैं? इसके दो उदाहरण दें।

4. एक वस्तु सूर्य के चारों ओर नियत वेग से चल रही है। उसकी गति एक समान गति है या असमान?

5. एक वस्तु का विस्थापन– समय ग्राफ नीचे दिया है। उसके वेग के बारे में आप क्या परिणाम निकालेंगे?



6. एक वस्तु का स्थिति समय ग्राफ समय अक्ष के समानांतर सरल रेखा है। उसकी गति के बारे में आप क्या कहेंगे?

7. एक समान गति तथा असमान गति को परिभाषित करते हुए प्रत्येक के दो–दो उदाहरण दें।

8. गति के तीनों समीकरण लिखकर उसमें प्रयुक्त संकेतों के अर्थ बताएँ।

9. एक एथलीट वृत्तीय पथ जिसकी त्रिज्या 7 m है का एक चक्कर 44 s में लगाता है। 1 मिनट के बाद वह कितनी दूरी तय करेगा। (60m)

10. ग्राफीय विधि से गति का द्वितीय समीकरण $s = ut + 1/2\ at^2$ व्युत्पन्न करें।

11. नीरज गाड़ी से स्कूल 20 km/h की औसत चाल से जाता है। उसी रास्ते से लौटने के समय वहाँ भीड़ कम होने से उसकी औसत चाल 30 km/h है। पूरी यात्रा के दौरान नीरज की गाड़ी की औसत चाल क्या है?

(24km/h)

12. एक 20m ऊँची मीनार से एक गेंद को गिराया जाता है। यदि उसका वेग 10 m/s^2 के एक समान त्वरण से बढ़ रहा है तो वह जमीन पर किस वेग से टकरायेगी ? उसे जमीन से टकराने में कितना समय लगेगा?

(20 m/s)

13. एक कार सीधे सड़क पर एक समान त्वरित गति से गति कर रही है। विभिन्न समयों पर कार का वेग निम्नलिखित है तो उसका वेग समय ग्राफ खींचकर उसका त्वरण व 30 सेकंड में चली दूरी ज्ञात करें।

t समय (s)	0	10	20	30	40	50
v चाल (m/s)	5	10	15	20	25	30

(375 m)

14. संलग्न चित्र में किसी वस्तु के विभिन्न समयों पर स्थिति–समय ग्राफ खींचें हुए हैं। वस्तु की चाल ज्ञात करें।

(i) A से B (ii) B से C (iii) C से D