การเคลื่อนที่แนวตรง

2.1 การบอกตำแหน่งของวัตถุและการเคลื่อนที่

การบอกตำแหน่งของวัตถุ เป็นการบอกเทียบกับ “จุดอ้างอิง” หรือ “กรอบอ้างอิง” ซึ่งถือว่ามีตำแหน่งคงที่หรือหยุดนิ่ง โดยการบอกตำแหน่งของวัตถุอาจจะบอกในลักษณะ 1 มิติ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่วัตถุปรากฏ ตัวอย่างเช่น

ตำแหน่งจุดบนเส้นตรง	มดที่คลานไปตามสันไม้บรรทัด	เป็นตำแหน่งใน 1 มิติ
ตำแหน่งจุดบนระนาบ	แมลงที่เกาะอยู่บนผนังห้อง	เป็นตำแหน่งใน 2 มิติ
ตำแหน่งจุดภายในรูปทรงลูกบาศก์	โคมไฟที่ห้อยลงมาจากเพดานห้อง	เป็นตำแหน่งใน 3 มิติ

ถ้าตำแหน่งของวัตถุใดเปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงหรือกรอบอ้างอิง ในช่วงเวลาที่สังเกต แสดงว่าวัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่ โดยกรอบอ้างอิงที่ใช้สังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุบนโลก คือ พื้นผิวโลก หรือ สิ่งที่อยู่นิ่งบนพื้นผิวโลกเช่น ต้นไม้ หลักกิโลเมตร ประภาคาร เป็นต้น ส่วนกรอบอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษาหรืออธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุ คือ ระบบพิกัดต่างๆ

2.2 ปริมาณสเกลาร์และปริมาณเวกเตอร์

ปริมาณสเกลาร์ (scalar quantity) เป็นปริมาณที่มีเพียงขนาดเท่านั้น เช่น มวล ความยาว เวลา อัตราเร็ว งาน พลังงาน ศักย์ไฟฟ้า เป็นต้น

ปริมาณเวกเตอร์ (vector quantity) เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง แรง โมเมนต์ โมเมนตัม เป็นต้น

- **สัญลักษณ์และภาพแทนเวกตอร์**

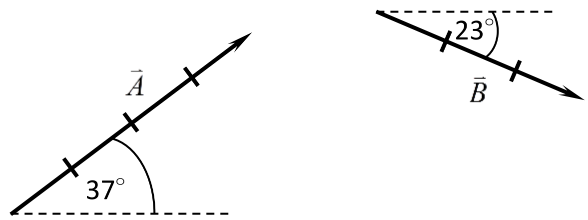
เวกเตอร์เป็นปริมาณที่ต้องระบุทั้งขนาดและทิศทางจึงมีความหมายสมบูรณ์ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนเวกเตอร์จึงเป็นตัวอักษร (เหมือนที่ใช้แทนปริมาณสเกลาร์) ที่มีลูกศรกำกับอยู่ด้านบน (ลูกศรเป็นสัญลักษณ์ที่สื่อถึงทิศทาง) เช่น $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$และใช้ตัวอักษรหรือค่าสัมบูรณ์ของเวกเตอร์เป็นสัญลักษณ์แทนขนาดของเวกเตอร์ เช่น ใช้ A, B, C หรือ $|\vec{A}|, |\vec{B}|, |\vec{C}|$ เป็นสัญลักษณ์แทนขนาดของ $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ ส่วนภาพแทนเวกเตอร์ คือ **ลูกศร** เนื่องจากสื่อได้ทั้งขนาดและทิศทาง โดยความยาวของลูกศรใช้แทนขนาดของเวกเตอร์ (มักแทนในรูปสัดส่วน) และหัวลูกศรใช้แสดงทิศของเวกเตอร์

- **การบวกและการลบเวกเตอร์**

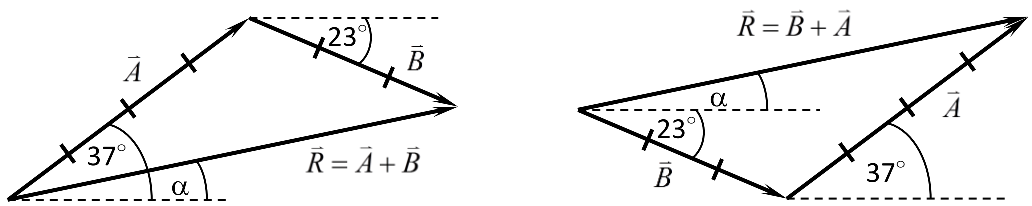
การบวกและลบเวกเตอร์หรือการหาเวกเตอร์ลัพธ์ ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีกราฟิกกับการคำนวณ

1) วิธีกราฟิก

จาก $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ ที่กำหนด



การหา $\vec{A}+\vec{B}$ ด้วยวิธีกราฟิก เริ่มจากการเขียนลูกศรแทน $\vec{A}$ แล้วเขียนลูกศรแทน $\vec{B}$ เพิ่มเข้าไปโดยให้หางของลูกศรแทน $\vec{B}$ จดอยู่ที่หัวลูกศรแทน $\vec{A}$ ผลบวกของ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ หรือ เวกเตอร์ลัพธ์ $\vec{R}$ ของ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ แทนด้วยลูกศรที่ลากจากหางลูกศรแทน $\vec{A}$ ไปยังหัวลูกศรแทน $\vec{B}$ ดังรูปที่ 2.1 (ก) และจากวิธีการทำนองเดียวกัน จะหา $\vec{B}+\vec{A}$ ได้ดังรูปที่ 2.1 (ข)



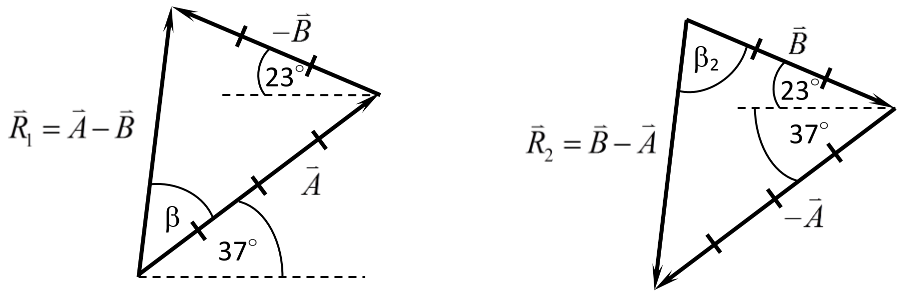
(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 การหาผลบวกของเวกเตอร์ด้วยวิธีกราฟิก

วัดความยาวของลูกศรแทนเวกเตอร์ลัพธ์ $\vec{R}$ แล้วนำมาเทียบกับอัตราส่วนที่ใช้ในการเขียนลูกศรแทนเวกเตอร์เพื่อหาขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ วัดมุมจากแนวราบหรือแนวดิ่งไปยังแนวการวางตัวของลูกศรแทนเวกเตอร์ลัพธ์ $\vec{R}$ เพื่อใช้บอกทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์

จากรูปที่ 2.1 สังเกตว่า $\vec{A}+\vec{B}=\vec{B}+\vec{A}$

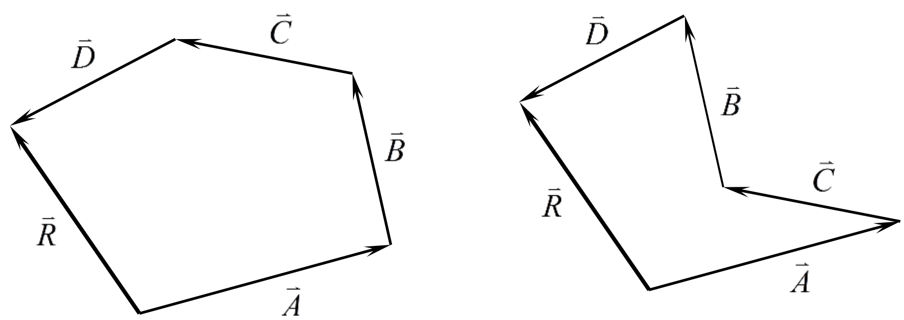
ส่วนการหาผลลบของเวกเตอร์ด้วยวิธีกราฟิกใช้วิธีการทำนองเดียวกับการหาผลบวกของเวกเตอร์ เพียงแต่กลับทิศของเวกเตอร์ที่เป็นตัวลบก่อนที่จะดำเนินการหาเวกเตอร์ลัพธ์ด้วยวิธีการเดียวกับการบวกเวกเตอร์ กล่าวคือ $\vec{A}-\vec{B}=\vec{A}+(-\vec{B})$ และ $\vec{B}-\vec{A}=\vec{B}+(-\vec{A})$ ซึ่งพิจารณาได้จากการหาผลลบของ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ กับผลลบของ $\vec{B}$ และ $\vec{A}$ ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การหาผลลบของเวกเตอร์ด้วยวิธีกราฟิก

จากรูปที่ 2.2 สังเกตว่า $\vec{A} - \vec{B} \neq \vec{B} - \vec{A}$

การหาเวกเตอร์ลัพธ์ของ 2 เวกเตอร์ สามารถขยายผลไปสู่การหาเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์มากกว่า 2 เวกเตอร์ได้ โดยการเขียนลูกศรแทนเวกเตอร์ที่นำมาบวกกันวนต่อกันไปแบบหางต่อหัวจนครบทุกเวกเตอร์ เวกเตอร์ลัพธ์ $\vec{R}$ แทนด้วยลูกศรที่ลากจากหางลูกศรแทนเวกเตอร์แรกไปยังหัวลูกศรแทนเวกเตอร์สุดท้ายที่นำมาบวกกัน ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การหาเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์มากกว่า 2 เวกเตอร์ ด้วยวิธีกราฟิก

จากรูปที่ 2.3 สังเกตว่า $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D} = \vec{A} + \vec{C} + \vec{B} + \vec{D}$ และลูกศรแทนเวกเตอร์ลัพธ์จะวนสวนทิศกับลูกศรแทนเวกเตอร์ที่นำมาบวกกัน

2) วิธีคำนวณ

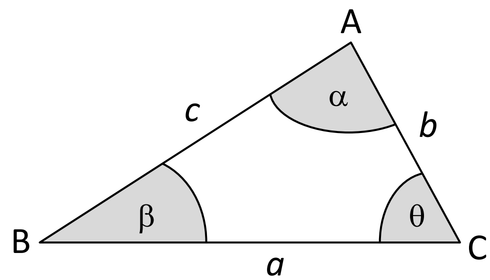
2.1) การคำนวณหาเวกเตอร์ลัพธ์ของสองเวกเตอร์

การคำนวณหาเวกเตอร์ลัพธ์ของสองเวกเตอร์เริ่มจากการเขียนลูกศรแทนเวกเตอร์ทั้งสองวนต่อกันแบบหางต่อหัวและเขียนลูกศรแทนเวกเตอร์ลัพธ์ ตามวิธีการหาเวกเตอร์ลัพธ์โดยวิธีกราฟิก จากนั้นใช้ความรู้ทางเรขาคณิตหาค่ามุมที่อยู่ตรงข้ามกับเวกเตอร์ลัพธ์ เนื่องจากเวกเตอร์ทั้งสามประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม

ในระนาบ ขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์จึงคำนวณหาได้จากกฎโคไซน์ ส่วนทิศทางของ เวกเตอร์ลัพธ์เทียบกับเวกเตอร์ใดเวกเตอร์หนึ่งที่นำมาบวกกันคำนวณหาได้จากกฎไซน์

- **กฎโคไซน์และกฎไซน์**

พิจารณาสามเหลี่ยม ABC ซึ่งด้านที่อยู่ตรงข้ามกับจุดยอด A, B และ C ยาว a, b และ c ตามลำดับ โดยมุมที่จุดยอด A, B และ C มีค่าเป็น α, β และ θ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวด้านและมุมของสามเหลี่ยมตามกฎโคไซน์และกฎไซน์

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวด้านและมุมของสามเหลี่ยมตามกฎโคไซน์เป็นตามสมการ (2.1)

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta \qquad \text{... (2.1 ก)}$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac\cos\beta \qquad \text{... (2.1 ข)}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos\alpha \qquad \text{... (2.1 ค)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวด้านและมุมของสามเหลี่ยมตามกฎไซน์เป็นตามสมการ (2.2)

$$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\theta} \qquad \text{... (2.2)}$$

จากกฎไซน์สรุปใจความได้ว่า สำหรับสามเหลี่ยมในระนาบ **อัตราส่วนระหว่างความยาวด้านกับค่าไซน์ของมุมที่อยู่ตรงข้าม มีค่าคงที่**

ข้อสังเกต ในกรณีที่เวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ที่นำมาบวกกัน ทำมุมกัน $90°$ หรือตั้งฉากกัน มุมที่อยู่ตรงข้ามกับเวกเตอร์ลัพธ์จะเป็น $90°$ เนื่องจาก $\cos 90^\circ = 0$ กฎโคไซน์จะลดรูปลงมาเป็นทฤษฎีพิธากอรัส

2.2) การคำนวณหาเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์มากกว่าสองเวกเตอร์

การคำนวณหาเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์มากกกว่าสองเวกเตอร์ นิยมใช้การแยกเวกเตอร์แต่ละเวกเตอร์ที่นำมาบวกกันออกเป็น 2 องค์ประกอบในแนวตั้งฉากกัน ซึ่งโดยทั่วไปเป็นแนวแกน X และแกน Y แล้วหาผลรวมขององค์ประกอบในแนวแกน X และแกน Y ของเวกเตอร์ทั้งหลายที่นำมาบวกกัน (พิจารณา

เครื่องหมายของแต่ละองค์ประกอบด้วย) ขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์หาได้จากทฤษฎีพิธากอรัส ส่วนทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์หาได้ในเทอมของค่าแทนเจนต์

2.3 นิยามของปริมาณต่าง ๆ ที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่

(1) ระยะทางและการกระจัด

• **ระยะทาง** เป็นระยะที่วัดจากจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของวัตถุจนถึงจุดสุดท้ายหรือจุดปลายของการเคลื่อนที่

• **การกระจัด** เป็นการบอกตำแหน่งของตำแหน่งใหม่ของวัตถุ เมื่อเทียบกับตำแหน่งเดิมหรือจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ โดยบอกทั้งขนาดของกระจัด (หรือระยะกระจัด) และทิศของตำแหน่งใหม่เมื่อเทียบกับตำแหน่งเดิม การกระจัดจึงเป็นเวกเตอร์ที่มีทิศชี้จากตำแหน่งเดิม (จุดเริ่มต้น) ไปยังตำแหน่งใหม่ (จุดสุดท้าย) ของการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ข้อเปรียบเทียบระหว่างระยะทางกับและการกระจัด

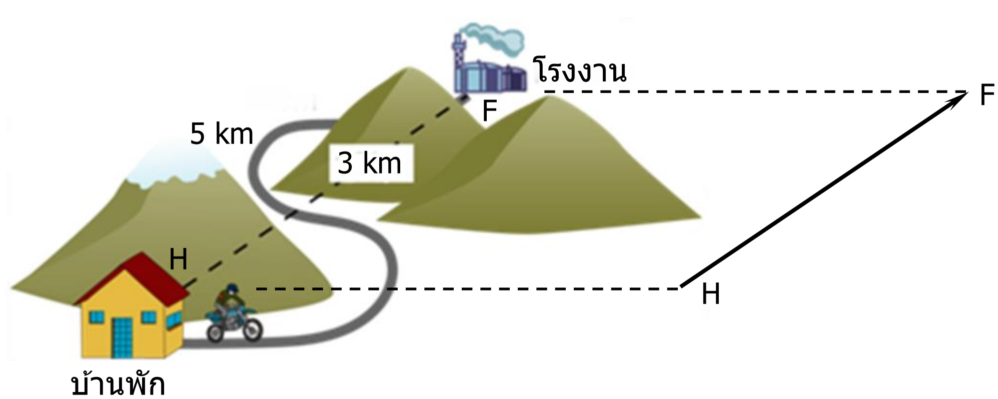
(ก) ระยะทางเป็นสเกลาร์ แต่การกระจัดเป็นเวกเตอร์

(ข) ระยะทางจะเท่ากับขนาดของการกระจัด ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางเดียวตลอดการเคลื่อนที่ เท่านั้น นอกจากกรณีนี้แล้ว ระยะทางจะมีค่ามากกว่าขนาดของการกระจัดเสมอ

(ค) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบมีคาบและเคลื่อนที่ครบรอบพอดี หรือวัตถุที่เคลื่อนที่ไปแล้วกลับมายังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง การกระจัดจะเป็นศูนย์ แต่ระยะทางไม่เป็นศูนย์

(ง) ระยะทางและการกระจัด มีหน่วยเป็น เมตร เหมือนกัน

ตัวอย่างที่ 2.1 พิจารณาการเดินทางจากบ้านพักไปยังโรงงานดังรูป



ระยะทางและการกระจัดในการเดินทางจากบ้านพักไปยังโรงงานมีค่าเท่าใด

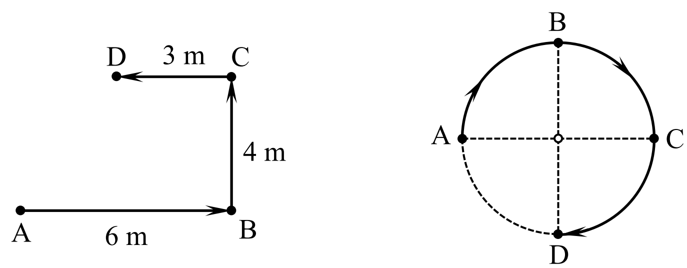
วิธีทำ ระยะทางเป็นระยะที่วัดจากจุดเริ่มต้นไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่จริง (ถนน)

ระยะทางในการเดินทางจากบ้านพักไปยังโรงงานจึงมีค่าเป็น 5 km

การกระจัดเป็นเวกเตอร์ที่มีทิศชี้จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่

การกระจัดในการเดินทางจากบ้านพักไปยังโรงงานจึงมีขนาด 3 km ทิศชี้จากบ้านพัก (จุด H) ไปยังโรงงาน (จุด F)

ตัวอย่างที่ 2.2 จงหาระยะทางและระยะกระจัดของวัตถุที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง จากจุด A ผ่านจุด B, C ไปยังจุด D ดังรูป โดยในรูป (ข) AC = BD = 8 m เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม

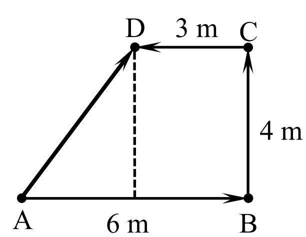


(ก) (ข)

วิธีทำ

(ก) ระยะทาง = AB + BC + CD = 6+4+3 m = 13 m

การกระจัดมีขนาดเท่ากับระยะ AD ทิศชี้จาก A ไปยัง D ดังรูป



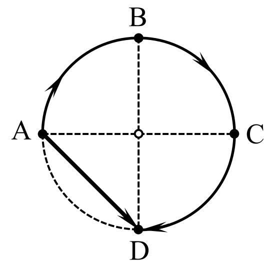
จากรูป จะได้ ขนาดของการกระจัด $=\sqrt{3^2+4^2}$ m = 5 m

(ข) ระยะทาง คือ ความยาวของส่วนโค้ง ABCD โดยมุมที่รองรับส่วนโค้งนี้มีค่าเท่ากับ $3\pi/2$ rad

จากนิยามของมุมในหน่วยเรเดียน จะได้

ระยะทาง $=\left(\frac{3\pi}{2}\right)(4\text{ m}) = 6\pi\text{ m} = 6\left(\frac{22}{7}\right)\text{ m} = \frac{132}{7}\text{ m} = 18.9\text{ m}$

การกระจัดมีขนาดเท่ากับความยาวของคอร์ด AD ทิศชี้จาก A ไปยัง D ดังรูป



จากรูป จะได้ ขนาดของการกระจัด $= \sqrt{4^2 + 4^2}$ m $= 4\sqrt{2}$ m $=$ 5.66 m

(2) อัตราเร็วและความเร็ว

- **อัตราเร็ว** คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา

อัตราเร็วแบ่งเป็น อัตราเร็วเฉลี่ย และอัตราเร็วขณะหนึ่ง

อัตราเร็วเฉลี่ย เป็นระยะทางในหนึ่งหน่วยเวลาของช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ดังนั้น $$\text{อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}} \qquad (2.1)$$

อัตราเร็วขณะเวลาหนึ่ง เป็นระยะทางต่อหน่วยเวลาในช่วงเวลาที่สั้นมาก (เกือบเป็น 0)

อัตราเร็วขณะเวลาหนึ่งของยานพาหนะอ่านค่าได้จาก**มาตรอัตราเร็ว** (speedometer) ที่ติดตั้งไว้ในยานพาหนะ

- **ความเร็ว** คือ การกระจัดที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วแบ่งเป็นความเร็วเฉลี่ย กับ ความเร็วขณะเวลาหนึ่ง

ความเร็วเฉลี่ย เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วตลอดการเคลื่อนที่ โดยคิดว่า ความเร็วที่แต่ละจุดบนเส้นทางการเคลื่อนที่ มีค่าเท่ากัน ทั้งๆ ที่ตามความเป็นจริงแล้วอาจไม่เท่ากัน ความเร็วเฉลี่ย เป็นการกระจัดในหนึ่งหน่วยเวลาของช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ดังนั้น $$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{การกระจัดที่เกิดขึ้น}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}} \qquad (2.2)$$

ความเร็วเฉลี่ยมีทิศเดียวกับการกระจัด

ความเร็วขณะเวลาหนึ่ง เป็นความเร็วที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ความเร็วขณะเวลาหนึ่งเป็นการกระจัดต่อหน่วยเวลาในช่วงเวลาที่สั้นมาก (เกือบเป็น 0)

สังเกตว่าความเร็วเฉลี่ยไม่ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับความเร็วที่จุดต่าง ๆ บนเส้นทางการเคลื่อนที่ ความเร็วของวัตถุที่พูดถึงในชีวิตประจำวันจึงเป็นความเร็วเฉลี่ยไม่ใช่ความเร็วขณะหนึ่ง

ข้อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและอัตราเร็ว

ความเร็วกับอัตราเร็ว คล้ายคลึงกันมาก จนมีการใช้สลับกัน ผิดความหมายกันบ่อย ๆ หรือใช้กันตาม

ความสะดวก เพราะคิดว่ามีความหมายเหมือนกัน แต่บางครั้งการใช้คำทั้งสองสลับกันก็สามารถสื่อความหมายหรือทำความเข้าใจกันได้ เพราะความเร็วและอัตราเร็วมีส่วนที่คล้ายคลึงและแตกต่างกัน ดังนี้

(ก) ความเร็วเป็นเวกเตอร์ แต่อัตราเร็วเป็นสเกลาร์

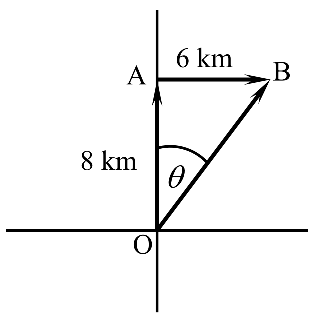
(ข) ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ไปในทิศทางเดียวตลอด ขนาดของความเร็ว คือ อัตราเร็ว

(ค) อัตราเร็วจะมีค่าเปลี่ยนไป เมื่อขนาดเปลี่ยนไป แต่ความเร็วจะมีค่าเปลี่ยนไป เมื่อขนาดเปลี่ยนไป หรือทิศทางเปลี่ยนไป หรือทั้งขนาดและทิศทางเปลี่ยนไป

(ง) ความเร็วและอัตราเร็วมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s) เหมือนกัน

ตัวอย่างที่ 2.3 เรือลำหนึ่งแล่นออกจากท่าไปทางทิศเหนือ 8 km แล้วเลี้ยวไปทางทิศตะวันออก 6 km จึงถึงจุดหมายปลายทาง โดยใช้เวลาในการเดินทาง 40 นาที จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยของเรือลำนี้

วิธีทำ เส้นทางการเดินทางของเรือลำนี้เป็นดังรูป



จากรูป ระยะทาง = OA+AB = 8+6 km = 14 km

ขนาดของการกระจัด $= \sqrt{8^2+6^2}$ km $=$ 10 km

โดยใช้เวลาในการเดินทาง 40 นาที หรือ 2/3 ชั่วโมง

อัตราเร็วเฉลี่ยของเรือลำนี้ $= \dfrac{14}{2/3}$ km/h $=$ 21 km/h

ความเร็วเฉลี่ยของเรือลำนี้ $= \dfrac{10}{2/3}$ km/h $=$ 15 km/h

ทิศทางทำมุม $\theta = \tan^{-1}(6/8) = 37^\circ$ กับทิศเหนือไปทางทิศตะวันออก หรือ $\mathrm{N}37^\circ\,\mathrm{E}$

ตัวอย่างที่ 2.4 ชายคนหนึ่งออกกำลังกายด้วยการวิ่งด้วยอัตราเร็ว 4 m/s เป็นเวลา 5 นาที วิ่งด้วยอัตราเร็ว 6 m/s เป็นเวลา 3 นาที แล้วเดินด้วยอัตราเร็ว 1 m/s เป็นเวลา 12 นาที จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่งและเดินเพื่อออกกำลังกายของชายคนนี้

วิธีทำ ระยะทางในการวิ่งด้วยอัตราเร็ว 4 m/s $= (4)(5\times 60)$ m $=$ 1200 m

ระยะทางในการวิ่งด้วยอัตราเร็ว 6 m/s $= (6)(3\times 60)$ m $=$ 1080 m

ระยะทางในการเดินด้วยอัตราเร็ว 1 m/s $= (1)(12\times 60)$ m $=$ 720 m

ระยะทางทั้งหมด = 1200 + 1080 + 720 m = 3000 m

เวลาที่ใช้ = 300 + 180 + 720 s = 1200 s

อัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่งและเดินเพื่อออกกำลังกายของชายคนนี้ $= \dfrac{3000}{1200}$ m/s $=$ 2.5 m/s

ตัวอย่างที่ 2.5 เด็กคนหนึ่งปั่นจักรยานบนถนนตรงด้วยอัตราเร็ว 5 m/s ได้ระยะทาง 100 เมตร เจอสุนัขไล่เห่า จึงตัดสินใจเปลี่ยนอัตราเร็วเป็น 10 m/s ได้ระยะทาง 50 เมตร สุนัขจึงหยุดไล่ จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยของเด็กคนนี้

วิธีทำ เวลาที่ใช้ในการปั่นจักรยานในระยะทาง 100 m $= \frac{100}{5}$ s $=$ 20 s

เวลาที่ใช้ในการปั่นจักรยานในระยะทาง 50 m $= \frac{50}{10}$ s $=$ 5 s

เวลาที่ใช้ทั้งหมดในการปั่นจักรยานเป็นระยะทาง 150 m = 20+5 s = 25 s

อัตราเร็วเฉลี่ยของเด็กคนนี้ $= \frac{150}{25}$ m/s $=$ 6 m/s

(3) ความเร่ง คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา

เนื่องจากความเร็วเปลี่ยนไปเมื่อขนาดเปลี่ยนไป หรือทิศเปลี่ยนไป หรือทั้งขนาดและทิศทางเปลี่ยนไป ดังนั้น วัตถุจะมีความเร่ง เมื่อขนาดของความเร็วของวัตถุเปลี่ยนไป ทิศทางคงเดิม (เช่น การเคลื่อนที่ในแนวตรง) หรือเมื่อทิศของความเร็วเปลี่ยนไป ขนาดคงเดิม (เช่น การเคลื่อนที่ในแนวโค้ง การเคลื่อนที่เป็นวงกลม) หรือ เมื่อทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วเปลี่ยนไป

ความเร่ง แบ่งออกเป็น ความเร่งเฉลี่ย กับ ความเร่งขณะเวลาหนึ่ง

ความเร่งเฉลี่ย เป็นค่าเฉลี่ยของความเร่งตลอดการเคลื่อนที่ เป็นความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหน่วยเวลา ของช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ดังนั้น $$\text{ความเร่งเฉลี่ย} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}} = \frac{\text{ความเร็วปลาย} - \text{ความเร็วต้น}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}} \qquad (2.3)$$

ความเร่งขณะเวลาหนึ่ง เป็นความเร่งที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นทางการเคลื่อนที่ เป็นความเร็วที่เปลี่ยนแปลง ในช่วงเวลาที่สั้นมาก (เกือบเป็น 0)

สำหรับความเร่งที่ใช้กันโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน คือ ความเร่งเฉลี่ย

ความเร่งอาจมีทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ก็ได้ ถ้าความเร่ง มีทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ วัตถุจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น แต่ถ้าความเร่งมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ ซึ่งบางครั้งเรียกว่า ความหน่วง วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง

ส่วนคำว่า **อัตราเร่ง** มักใช้แทนขนาดของความเร่ง มากกว่าจะใช้ในความหมายว่าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลง อัตราเร็ว หรืออัตราเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา

ตัวอย่างที่ 2.6 ขณะขับรถด้วยความเร็ว 20 m/s คนขับสังเกตเห็นฝูงวัวกำลังข้ามถนน จึงเหยียบเบรกเพื่อหยุดรถ ถ้ารถหยุดในเวลา 4 s จงหาความเร่งเฉลี่ยของรถ

วิธีทำ เนื่องจาก $\text{ความเร่งเฉลี่ย} = \frac{\text{ความเร็วปลาย} - \text{ความเร็วต้น}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}}$

ดังนั้น ความเร่งเฉลี่ยของรถ $= \frac{0-20}{4}$ m/s^2 $=$ -5 m/s^2

เครื่องหมายลบ แสดงว่า ความเร่งมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ (หรือ ความหน่วง)

ตัวอย่างที่ 2.7 เมื่อปาลูกบอลลงไปตรง ๆ ที่พื้น ถ้าลูกบอลตกกระทบพื้นด้วยอัตราเร็ว 5 m/s และกระดอนกลับขึ้นมาในแนวเดิมด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม โดยในการกระทบพื้นมีค่า 0.2 s ความเร่งของลูกบอลมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ถ้ากำหนดให้ทิศพุ่งขึ้นในแนวดิ่งเป็นบวก

ความเร็วต้นของลูกบอลจะมีค่าเป็น –5 m/s ขณะที่ความเร็วปลายของลูกบอลมีค่าเป็น +5 m/s

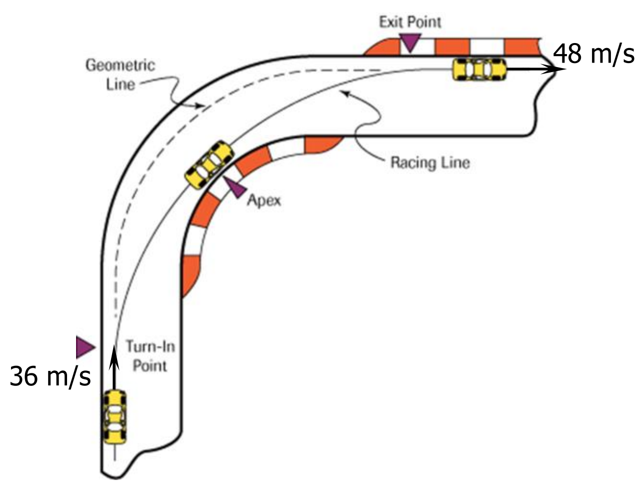
เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็วมีค่าน้อยมาก จึงอาจพิจารณาให้เป็นความเร่งขณะเวลาหนึ่งได้

ดังนั้น ความเร่งของลูกบอล $= \dfrac{5-(-5)}{0.2}\ \text{m/s}^2 = \dfrac{10}{0.2}\ \text{m/s}^2 = 50\ \text{m/s}^2$

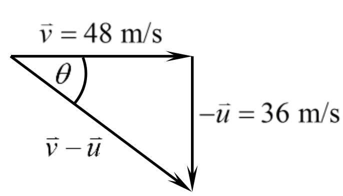
ความเร่งของลูกบอลมีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่า มีทิศพุ่งขึ้นตามแนวดิ่ง

หมายเหตุ ผลลัพธ์ที่ได้ยังคงเหมือนเดิม แม้ว่าจะกำหนดให้ทิศพุ่งลงตามแนวดิ่งเป็นบวก

ตัวอย่างที่ 2.8 ในการฝึกซ้อม รถแข่งคันหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 36 m/s ในทิศเหนือ เข้าสู่ทางโค้ง เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที รถแข่งคันนี้เลี้ยวผ่านโค้งเข้าสู่ทางตรงและมีความเร็ว 48 m/s ในทิศตะวันออก ดังรูป จงหาความเร่งเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของรถแข่งคันนี้ในช่วง 10 วินาที ดังกล่าว



วิธีทำ เขียนรูปแสดงความเร็วที่เปลี่ยนไป (ขนาดและทิศทาง) ของรถแข่งคันนี้ ได้ดังรูป

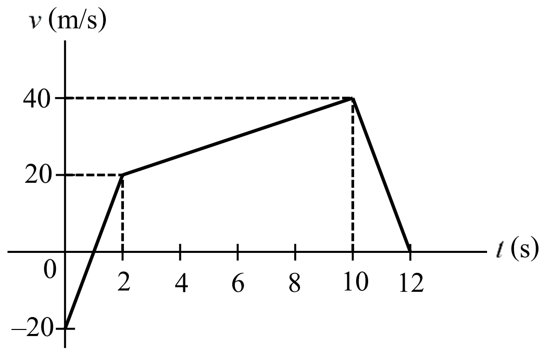


เมื่อ $\vec{v}$ แทน ความเร็วปลาย และ $\vec{u}$ แทนความเร็วต้น

จากรูป จะได้ $|\vec{v}-\vec{u}| = \sqrt{36^2+48^2}$ m/s $= 12\sqrt{3^2+4^2}$ m/s $=$ 60 m/s

ทิศทางทำมุม $\theta = \tan^{-1}(36/48) = \tan^{-1}(3/4) = 37^\circ$ กับทิศตะวันออกไปทางทิศใต้ หรือ $E37^\circ S$

ตัวอย่างที่ 2.9 ถ้ากราฟระหว่างความเร็วกับเวลาในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบ (แนวแกน X) ของรถคันหนึ่ง เป็นดังรูป



(ก) จงหาระยะทางและการกระจัดของรถคันนี้

(ข) จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยและขนาดของความเร็วเฉลี่ยของรถคันนี้

(ค) จงหาความเร่งของรถคันนี้ในช่วงเวลา 2 s ถึง 10 s และช่วงเวลา 10 s ถึง 12 s

วิธีทำ (ก) ระยะทาง = พื้นที่ใต้กราฟเหนือแกนเวลา + พื้นที่ใต้กราฟใต้แกนเวลา

$$= \left[\left(\frac{1}{2}\times1\times20\right)+\left(\frac{1}{2}\times(20+40)\times8\right)+\left(\frac{1}{2}\times2\times40\right)\right]+\left(\frac{1}{2}\times1\times20\right)\ \text{m}$$

$$= [10+240+40]+10\ \text{m} = 300\ \text{m}$$

ขนาดของการกระจัด = พื้นที่ใต้กราฟเหนือแกนเวลา – พื้นที่ใต้กราฟใต้แกนเวลา

$$= [10+240+40]-10\ \text{m} = 280\ \text{m}$$

(ข) อัตราเร็วเฉลี่ยของรถคันนี้ $= \frac{300}{12}$ m/s $=$ 25 m/s

ขนาดของความเร็วเฉลี่ยของรถคันนี้ $= \frac{280}{12}$ m/s $=$ 23.3 m/s

(ค) ความเร่งในช่วงเวลาใดมีค่าเท่ากับความชันของกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาในช่วงเวลานั้น

ความเร่งของรถคันนี้ในช่วงเวลา 2 s ถึง 10 s $= \frac{40-20}{10-2}\ \text{m/s}^2 = \frac{20}{8}\ \text{m/s}^2 = 2.5\ \text{m/s}^2$

ความเร่งของรถคันนี้ในช่วงเวลา 10 s ถึง 12 s $= \frac{0-40}{12-10}\ \text{m/s}^2 = \frac{-40}{2}\ \text{m/s}^2 = -20\ \text{m/s}^2$

ความเร่งของรถคันนี้ในช่วงเวลา 2 s ถึง 10 s จึงมีค่าเป็น $2.5\ \text{m/s}^2$ ทิศ +X

ความเร่งของรถคันนี้ในช่วงเวลา 10 s ถึง 12 s จึงมีค่าเป็น $20\ \text{m/s}^2$ ทิศ –X

2.4 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบ

- **การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบด้วยความเร็วคงตัว**

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบด้วยความเร็วคงตัว v โดยเคลื่อนที่ไปเป็นระยะกระจัด s ในช่วงเวลา t

จะได้ $$s = vt \quad \text{.......................... (2.7)}$$

- **การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบด้วยความเร่งคงตัว**

ถ้าวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบด้วยความเร่งคงตัว a ความเร็วของวัตถุเปลี่ยนจากความเร็วต้น u เป็นความเร็วปลาย v ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง s

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล่านี้ จัดเป็นสมการได้ 4 สมการ ดังนี้

$$(1)\ v = u + at \qquad (2)\ s = \frac{1}{2}(u+v)t \qquad (3)\ s = ut + \frac{1}{2}at^2 \qquad (4)\ v^2 = u^2 + 2as \quad \text{.......... (2.8)}$$

ข้อสังเกต กรณีการเคลื่อนที่ในแนวตรง ใช้ระยะทางแทนขนาดของการกระจัด และกรณีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว ความเร่งขณะเวลาหนึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเฉลี่ย

สมการทั้งสี่นี้ แต่ละสมการเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 4 ปริมาณ ถ้ารู้ค่า 3 ปริมาณ ใน 4 ปริมาณของแต่ละสมการ สมการเพียงสมการเดียวก็ใช้หาคำตอบได้ทันที แต่ถ้ารู้ค่าเพียง 2 ปริมาณ ใน 4 ปริมาณ ของแต่ละสมการ จะต้องใช้อย่างน้อย 2 สมการ จึงจะหาคำตอบได้ และการแก้ปัญหาในกรณีหลังนี้ อาจเลือกคู่สมการแตกต่างกันก็ได้ นั่นคือ ปัญหาบางข้อ อาจมีวิธีแก้ปัญหาได้มากกว่า 1 วิธี ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบคำตอบ โดยใช้คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีหนึ่งไปตรวจสอบคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีที่แตกต่างกันอีกวิธีหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 2.10 รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 72 km/h ก็เริ่มเข้าสู่เขตจำกัดความเร็ว คนขับจึงชะลอรถ ถ้าความเร็วของรถ ลดลงเหลือ 54 km/h ในเวลา 4 s จงหาความเร่งของรถยนต์คันนี้

วิธีทำ จาก $v = u + at$

เมื่อ $u = 72 \text{ km/h} = \dfrac{72\times1000}{3600} \text{ m/s} = \dfrac{72}{3.6} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s},\ v = \dfrac{54}{3.6} \text{ m/s} = 15 \text{ m/s}$

และ $t = 4\text{s}$

จะได้ $15 = 20 + 4a$ จึงได้ $a = \dfrac{15-20}{4} \text{ m/s}^2 = -\dfrac{5}{4} \text{ m/s}^2 = -1.25 \text{ m/s}^2$

ตัวอย่างที่ 2.11 วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร็วต้น 5 m/s และมีความเร่ง 5 m/s^2 ขณะที่วัตถุมีความเร็ว 30 m/s วัตถุเคลื่อนที่มาได้ระยะทางเท่าใด

วิธีทำ จาก $v^2 = u^2 + 2as$ จะได้ $(30)^2 = (5)^2 + 2(5)s$ และ $900 = 25 + 10s$

จึงได้ $s = \dfrac{900-25}{10}$ m $= 87.5$ m

วัตถุจึงเคลื่อนที่มาได้ระยะทาง 87.5 เมตร

ตัวอย่างที่ 2.12 รถคันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร็วต้น 10 m/s หลังจากนั้น 5 วินาที พบว่ารถเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง 150 m จงหาความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ และที่จุดสุดท้ายนั้น รถมีความเร็วเป็นเท่าไร

วิธีทำ จาก $s = ut + \dfrac{1}{2}at^2$ จะได้ $150 = (10)(5) + \dfrac{1}{2}a(5)^2$ และ $\dfrac{25}{2}a = 100$

จึงได้ $a = \dfrac{200}{25}$ $m/s^2 = 8.0$ m/s^2

ความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จึงมีค่าเป็น 8.0 m/s^2

จาก $s = \dfrac{1}{2}(u+v)t$ จะได้ $150 = \dfrac{1}{2}(10+v)(5) = 25 + \dfrac{5}{2}v$

จึงได้ $\dfrac{5}{2}v = 125$ และ $v = \dfrac{125 \times 2}{5}$ m/s $= 50$ m/s

ที่จุดสุดท้าย รถจึงมีความเร็ว 50 m/s

ข้อสังเกต ความเร็วที่จุดสุดท้าย อาจหาหนึ่ง โดยใช้สมการ $v = u + at$

ซึ่งจะได้ $v = 10 + (8)(5)$ m/s $= 50$ m/s เช่นกัน แต่กรณีนี้ต้องอาศัยค่าความเร่งที่ได้จากการคำนวณ ถ้าคำนวณความเร่งผิด จะได้ค่าความเร็วที่จุดสุดท้ายผิดไปด้วย

ตัวอย่างที่ 2.13 รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 15 m/s แต่หลังจากนั้นอีก 4 วินาที รถมีความเร็วเป็น 20 m/s จงหาว่า เมื่อเวลาผ่านไปอีก 10 วินาที รถจะมีความเร็วเป็นเท่าไร ถ้ารถเคลื่อนที่แบบมีความเร่งคงตัว

วิธีทำ จาก $v = u + at$ จะได้ $20 = 15 + a(4)$ จึงได้ $a = \dfrac{5}{4}$ m/s

จาก $v = u + at$ จะได้ $v = 20 + \dfrac{5}{4}(10)$ m/s $= 32.5$ m/s

ความเร็วของรถยนต์หลังจากเวลาผ่านไป 14 วินาที นับจากเริ่มต้น จึงมีค่าเป็น 32.5 m/s

ตัวอย่างที่ 2.14 รถคันหนึ่งเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 75 m ในระหว่างวินาทีที่ 10 ถึงวินาทีที่ 15 ถ้ารถคันนี้เคลื่อนที่ด้วยความหน่วง 2 m/s^2

(ก) จงหาความเร็วต้นของรถคันนี้

(ข) ที่วินาทีที่ 15 รถคันนี้มีความเร็วเท่าไร

(ค) หลังจากวินาทีที่ 15 รถคันนี้จะแล่นได้อีกระยะทางเท่าไรจึงจะหยุด

วิธีทำ (ก) จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

เมื่อ $t = 10$ s จะได้ $s_1 = u(10) + \frac{1}{2}(-2)(10)^2 = 10u - 100$

เมื่อ $t = 15$ s จะได้ $s_2 = u(15) + \frac{1}{2}(-2)(15)^2 = 15u - 225$

โดยที่ $s_2 - s_1 = 75$ จึงได้ $75 = 15u - 225 - 10u + 100 = 5u - 125$

และ $u = \frac{75+125}{5}$ m/s $= 40$ m/s

ความเร็วต้นของรถคันนี้จึงมีค่าเป็น 40 m/s

(ข) จาก $v = u + at$ จะได้ $v = 40 - 2(15)$ m/s $= 10$ m/s

ที่วินาทีที่ 15 รถคันนี้มีความเร็ว 10 m/s

(ค) จาก $v^2 = u^2 + 2as$ จะได้ $0 = (10)^2 + 2(-2)s = 100 - 4s$

จึงได้ $s = \frac{100}{4}$ m $= 25$ m

หลังจากวินาทีที่ 15 รถคันนี้จะแล่นได้อีก 25 เมตร จึงจะหยุด

ตัวอย่างที่ 2.15 รถบรรทุกคันหนึ่งแล่นด้วยความเร็วคงตัว 20 m/s ผ่านรถยนต์คันหนึ่งซึ่งกำลังเริ่มออกวิ่งด้วยความเร่งคงตัว 4 m/s^2 ในทิศทางเดียวกัน จงหาว่ารถยนต์ต้องใช้เวลานานเท่าใดจึงจะแล่นทันรถบรรทุก

วิธีทำ ถ้ารถยนต์ใช้เวลานาน t วินาที จึงแล่นทันรถบรรทุก

เมื่อพิจารณารถบรรทุก จาก $s = vt$ จะได้ $s_1 = 20t$

เมื่อพิจารณารถยนต์ จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ จะได้ $s_2 = 0 + \frac{1}{2}(4)t^2 = 2t^2$

แล่นทันกัน จากจุดเริ่มต้นเดียวกัน แสดงว่าแล่นได้ระยะทางเท่ากัน คือ $s_1 = s_2$

จึงได้ $2t^2 = 20t$ ดังนั้น $t = 10$ s

รถยนต์ต้องใช้เวลานาน 10 วินาที จึงจะแล่นทันรถบรรทุก

ตัวอย่างที่ 2.16 รถบรรทุกคันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว 72 km/h เมื่อผ่านด่านตรวจไปได้ 10 s ตำรวจจึงออกรถ ตามไปด้วยความเร่งคงตัวและไล่ทันรถบรรทุกคันดังกล่าวในเวลา 40 s จงหา

(ก) ความเร่งของรถตำรวจ ในหน่วย m/s^2

(ข) ความเร็วของรถตำรวจขณะไล่ทันรถบรรทุก ในหน่วย km/h

วิธีทำ (ก) จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

สำหรับรถบรรทุก : $u = 72 \text{ km/h} = \frac{72}{3.6} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}, \ a = 0, \ t = 40 + 10 \text{ s} = 50 \text{ s}$

จึงได้ $s_1 = (20)(50) \text{ m} = 1000 \text{ m}$

สำหรับรถตำรวจ : $u = 0, \ t = 40 \text{ s}$

จึงได้ $s_2 = 0 + \frac{1}{2}a(40)^2 \text{ m} = 800a \text{ m}$

รถไล่ทันกัน โดยจุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดเดียวกัน ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้จึงมีค่าเท่ากัน คือ $s_1 = s_2$

จึงได้ $800a = 1000$ และ $a = \frac{1000}{800} \text{ m/s}^2 = 1.25 \text{ m/s}^2$

ความเร่งของรถตำรวจจึงมีค่าเป็น 1.25 m/s^2

(ข) จาก $v = u + at$ จะได้ $v = 0 + (1.25)(40) \text{ m/s} = 50 \text{ m/s} = 50(3.6) \text{ km/h} = 180 \text{ km/h}$

ความเร็วของรถตำรวจขณะไล่ทันรถบรรทุกจึงมีค่าเป็น 180 km/h

ตัวอย่างที่ 2.17 รถไฟ 2 ขบวน วิ่งเข้าหากัน โดยวิ่งในรางเดียวกัน รถขบวนที่ 1 วิ่งด้วยความเร็ว 10 m/s ขณะที่รถไฟขบวนที่ 2 วิ่งด้วยความเร็ว 20 m/s ขณะที่อยู่ห่างกัน 325 m คนขับรถไฟทั้งสองขบวน ต่างเบรกรถและหยุดรถได้พร้อมกันพอดี ที่ระยะห่างกัน 25 m เวลาที่ใช้ในการหยุดรถเป็นเท่าใด

วิธีทำ จาก $s = \frac{1}{2}(u+v)t$ โดยที่ รถไฟทั้งสองขบวนใช้เวลาในการเคลื่อนที่เท่ากัน

สำหรับรถไฟขบวนที่ 1 จะได้ $s_1 = \frac{1}{2}(10+0)t = 5t$

สำหรับรถไฟขบวนที่ 2 จะได้ $s_2 = \frac{1}{2}(20+0)t = 10t$

โดยที่ $s_1 + s_2 = 325 - 25 \text{ m} = 300 \text{ m}$

จึงได้ $15t = 300$ และ $t = \frac{300}{15} \text{ s} = 20 \text{ s}$

เวลาที่ใช้ในการหยุดรถจึงเป็น 20 วินาที

2.5 การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้ความเร่งโน้มถ่วง

การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้ความเร่งโน้มถ่วง ถ้าไม่คิดแรงต้านอากาศ จะเป็นการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร่งคงตัว จึงมีสมการการเคลื่อนที่เหมือนกับสมการการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบด้วยความเร่งคงตัว เพียงแต่เปลี่ยนสัญลักษณ์บางตัว เพื่อความเหมาะสมและง่ายต่อการทำความเข้าใจ คือ แทน a ด้วยความเร่งโน้มถ่วง g และแทน s ด้วยระยะกระจัดแนวดิ่ง h เท่านั้น จึงได้สมการการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้ความเร่งโน้มถ่วงเป็น

(1) $v = u + gt$ (2) $h = \frac{1}{2}(u+v)t$ (3) $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ (4) $v^2 = u^2 + 2gh$ ………. (2.9)

ค่าเฉลี่ยของความเร่งโน้มถ่วง (g) ที่บริเวณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก มีค่าเป็น 9.8 m/s^2 แต่ในการคำนวณมักใช้เป็น 10 m/s^2 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

การใช้สมการการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้ความเร่งโน้มถ่วง มีข้อตกลงเรื่องเครื่องหมายและข้อสังเกตดังนี้

ข้อตกลงเรื่องเครื่องหมาย

(1) ให้ความเร็วต้น (u) เป็นบวกเสมอ ไม่ว่าวัตถุเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง

(2) v, g, h เป็นบวก ถ้ามีทิศเดียวกับ u และเป็นลบ ถ้ามีทิศตรงข้ามกับ u

(3) เวลา (t) เป็นบวกเสมอ

(4) ปริมาณที่ต้องการหาค่าไม่ว่าเป็น v หรือ h ไม่ต้องกำหนดเครื่องหมาย (เครื่องหมายจะรู้ได้จากผลการคำนวณ)

ข้อสังเกต

(1) การปล่อยให้วัตถุตกลงมา ความเร็วต้นของวัตถุ (u) จะมีค่าเป็น 0 ทิศพุ่งลงมาตามแนวดิ่ง

(2) ความเร็วของวัตถุขณะที่อยู่ที่จุดสูงสุด (v) จะเป็น 0

(3) ความเร่งโน้มถ่วง (g) มีทิศพุ่งลงตามแนวดิ่งเสมอ ไม่ว่าวัตถุกำลังเคลื่อนขึ้นหรือลง

(4) ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ขึ้นและลง อย่างต่อเนื่องกัน แล้ว

(4.1) ระยะกระจัดเมื่อตกลงมาถึงจุดโยน มีค่าเป็น 0 และจะเป็นลบ เมื่อตกลงไปต่ำกว่าจุดโยน

(4.2) ที่ระดับความสูงเดียวกันจากจุดโยน ความเร็วขาขึ้นกับความเร็วขาลง จะมีค่าเท่ากัน (ทิศตรงข้าม)

(4.3) เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นจากตำแหน่ง A ไป B มีค่าเท่ากับเวลาที่วัตถุนั้นตกจากตำแหน่ง B ลงมายังตำแหน่ง A เมื่อ A และ B เป็นตำแหน่ง 2 ตำแหน่งใด ๆ บนเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ

(5) ถ้าปล่อยวัตถุหรือวัตถุตกลงมาจากยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงตามแนวดิ่ง ความเร็วต้นของวัตถุจะไม่เป็น 0 แต่จะเริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้นเท่ากับความเร็วของยานพาหนะขณะปล่อยวัตถุหรือขณะวัตถุตกลงมา

ตัวอย่างที่ 2.18 โยนก้อนหินขึ้นไปในแนวดิ่งด้วยความเร็วต้น 20 m/s จงหาว่า

(ก) นานเท่าใดก้อนหินจึงขึ้นไปถึงจุดสูงสุด

(ข) นานเท่าใดก้อนหินจึงตกลงมาถึงจุดโยน

(ค) ก้อนหินลอยขึ้นไปสูงสุดกี่เมตรจากจุดโยน

วิธีทำ (ก) จาก $v = u + gt$ ถ้าก้อนหินขึ้นไปถึงจุดสูงสุด $(v = 0)$ ในเวลา t_1 วินาที

จะได้ $0 = 20 + (-10)t_1 = 20 - 10t_1$ จึงได้ $t_1 = \frac{20}{10}\text{ s} = 2\text{ s}$

(ข) จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ ถ้าก้อนหินตกลงมาถึงจุดโยน $(h = 0)$ ในเวลา t_2 วินาที

จะได้ $0 = 20t_2 + \frac{1}{2}(-10)t_2^2$ จึงได้ $5t_2^2 = 20t_2$ และ $t_2 = \frac{20}{5}\text{ s} = 4\text{ s}$

(ค) จาก $v^2 = u^2 + 2gh$ จะได้ $0 = 20^2 + 2(-10)h_{\text{max}} = 400 - 20h_{\text{max}}$

จึงได้ $h_{\text{max}} = \frac{400}{20}\text{ m} = 20\text{ m}$

ก้อนหินจึงลอยขึ้นไปสูงสุด 20 เมตร จากจุดโยน

ข้อสังเกต

- ความเร็วต้นมีทิศพุ่งขึ้นในแนวดิ่ง ค่าความเร่งโน้มถ่วงจึงมีเครื่องหมายเป็นลบ
- เวลาที่ก้อนหินตกลงมาถึงจุดโยนเป็น 2 เท่า ของเวลาที่ก้อนหินขึ้นไปถึงจุดสูงสุด
- จาก $v = u + gt$ จะพบว่า ความเร็วของก้อนหินเมื่อตกลงมาถึงจุดโยนมีค่าเป็น $v = 20 + (-10)(4)\text{ m/s} = -20\text{ m/s}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วต้นของก้อนหิน แต่มีทิศตรงข้าม (พุ่งลง)

ตัวอย่างที่ 2.19 ขว้างลูกบอลลงมาในแนวดิ่งด้วยความเร็ว 12.5 m/s ถ้าลูกบอลตกกระทบพื้นในเวลา 2 s จงหาว่า

(ก) จุดที่ขว้างลูกบอลลงมาอยู่สูงจากพื้นเท่าใด

(ข) ลูกบอลตกกระทบพื้นด้วยความเร็วเท่าใด

(ค) ถ้าปล่อยลูกบอลให้ตกลงมาจากจุดเดียวกับที่ขว้างลูกบอลลงมา ลูกบอลจะตกถึงพื้นช้ากว่าขว้างลงมาเท่าใด

วิธีทำ (ก) จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ เมื่อ $u = 12.5\text{ m/s}$ ทิศพุ่งลงตามแนวดิ่ง ค่า g จึงเป็นบวก

จะได้ $h = (12.5)(2) + \frac{1}{2}(10)(2)^2\text{ m} = 25 + 20\text{ m} = 45\text{ m}$

จุดที่ขว้างลูกบอลลงมาจึงอยู่สูงจากพื้น 45 เมตร

(ข) จาก $v = u + gt$ จะได้ $v = 12.5 + (10)(2)$ m/s $= 32.5$ m/s

ลูกบอลตกกระทบพื้นด้วยความเร็ว 32.5 m/s

(ค) จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ เมื่อ $u = 0$ ทิศพุ่งลงตามแนวดิ่ง ค่า h, g จึงเป็นบวก

จะได้ $45 = 0 + \frac{1}{2}(10)t^2 = 5t^2$ และ $t^2 = 9$ จึงได้ $t = 3$ s

ถ้าปล่อยลูกบอลให้ตกลงมาจากจุดเดียวกับที่ขว้างลูกบอลลงมา ลูกบอลจึงตกถึงพื้นช้ากว่าขว้างลงมา 1 วินาที

ตัวอย่างที่ 2.20 โยนก้อนหินขึ้นไปในแนวดิ่งจากหน้าผาซึ่งอยู่สูงจากผิวน้ำ 40 m ถ้าก้อนหินลอยขึ้นไปได้สูงสุด 5 m จากจุดโยนแล้วตกลงมา ตกผ่านหน้าผาไปตกกระทบผิวน้ำเบื้องล่าง จงหา

(ก) ความเร็วต้นของก้อนหิน

(ข) ตำแหน่งของก้อนหินเมื่อเวลาผ่านไป 3 s

(ค) เวลาที่ก้อนหินลอยอยู่ ในอากาศ

(ง) ความเร็วที่ก้อนหินตกกระทบผิวน้ำ

วิธีทำ (ก) จาก $v^2 = u^2 + 2gh$ จะได้ $0 = u^2 + 2(-10)(5)$ และ $u^2 = 100$

ความเร็วต้นของก้อนหิน จึงมีค่าเป็น $u = 10$ m/s

(ข) จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ จะได้ $h = (10)(3) + \frac{1}{2}(-10)(3)^2$ m $= 30 - 45$ m $= -15$ m

เมื่อเวลาผ่านไป 3 s ก้อนหินจึงอยู่ต่ำกว่าจุดโยน 15 m หรืออยู่เหนือผิวน้ำ 25 m

(ค) เวลาที่ก้อนหินลอยอยู่ในอากาศ คือ เวลาที่ก้อนหินลอยขึ้นไปสูง 5 m จากจุดโยน แล้วตกกลับลงมาจนกำลังจะตกกระทบผิวน้ำ โดยขณะนั้นก้อนหินอยู่ต่ำกว่าจุดโยน 40 m

จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ จะได้ $-40 = 10t + \frac{1}{2}(-10)t^2$ และ $-40 = 10t - 5t^2$

จึงได้ $5t^2 - 10t - 40 = 0$ หรือ $t^2 - 2t - 8 = 0$ และ $(t-4)(t+2) = 0$

ดังนั้น $t = 4$ s

ก้อนหินจึงลอยอยู่ในอากาศนาน 4 วินาที

(ง) จาก $v = u + gt$ จะได้ $v = 10 + (-10)(4)$ m/s $= -30$ m/s

เครื่องหมายลบ แสดงว่าเป็นความเร็วที่มีทิศพุ่งลงตามแนวดิ่ง

ก้อนหินจึงตกกระทบผิวน้ำด้วยความเร็ว 30 m/s

ข้อสังเกต ความเร็วที่ก้อนหินตกกระทบผิวน้ำ ในตัวอย่างนี้ อาจหาได้จากสมการ $v^2 = u^2 + 2gh$

ซึ่งได้ $v^2 = (10)^2 + 2(-10)(-40) = 900$ และ $v = \sqrt{900}$ m/s $= 30$ m/s เช่นกัน

แต่การใช้สมการ $v^2 = u^2 + 2gh$ หาค่า v ไม่สามารถระบุทิศทางได้อย่างการใช้สมการ $v = u + gt$

ตัวอย่างที่ 2.21 ยิงปืนขึ้นไปในแนวดิ่ง ด้วยความเร็วต้น 105 m/s นานเท่าใด กระสุนปืนจึงอยู่ที่ความสูง 400 m

วิธีทำ จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ จะได้ $400 = 105t + \frac{1}{2}(-10)t^2 = 105t - 5t^2$

จึงได้ $5t^2 - 105t + 400 = 0$ หรือ $t^2 - 21t + 80 = 0$

และ $(t-5)(t-16) = 0$ ดังนั้น $t = 5$ s, 16 s

กระสุนปืนจึงอยู่ที่ความสูง 400 m เมื่อเวลาผ่านไป 5 s ในตอนขาขึ้น และ 16 s ในตอนตกกลับลงมา

ข้อสังเกต

- กระสุนปืนจะขึ้นไปถึงตำแหน่งสูงสุดในเวลา $t = \frac{u}{g} = \frac{105}{10}$ s $= 10.5$ s

เวลาที่กระสุนปืนเคลื่อนที่ขึ้นไปจากความสูง 400 m ถึงตำแหน่งสูงสุด จึงมีค่าเป็น 10.5 – 5 s = 5.5 s

เวลาที่กระสุนปืนเคลื่อนที่ลงมาจากตำแหน่งสูงสุดถึงตำแหน่งความสูง 400 m มีค่าเป็น 16 – 10.5 s = 5.5 s

ซึ่งมีค่าเท่ากัน โดยผลข้อนี้เป็นจริงสำหรับการเคลื่อนที่ขึ้นและลงระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ

- จาก $v = u + gt$

เมื่อ $t = 5$ s จะได้ $v = 105 + (-10)(5)$ m/s $= 55$ m/s (พุ่งขึ้นตามแนวดิ่ง)

เมื่อ $t = 16$ s จะได้ $v = 105 + (-10)(16)$ m/s $= -55$ m/s (พุ่งลงตามแนวดิ่ง)

ที่ความสูงค่าหนึ่ง ความเร็วขาขึ้นกับความเร็วขาลงจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้าม

ตัวอย่างที่ 2.21 ถุงทรายตกจากบอลลูนที่กำลังลอยขึ้นด้วยความเร็ว 10 m/s ที่ความสูง 75 m จากพื้นดิน จงหา

(ก) ความสูงจากพื้นดินที่ถุงทรายลอยขึ้นไปถึง

(ข) เวลาที่ถุงทรายลอยอยู่ในอากาศ

(ค) ความเร็วที่ถุงทรายตกกระทบพื้น

วิธีทำ (ก) จาก $v^2 = u^2 + 2gh$ โดยที่ ความเร็วต้นของถุงทรายมีค่าเท่ากับความเร็วของบอลลูน

จึงได้ $0 = (10)^2 + 2(-10)h_{max}$ และ $h_{max} = \frac{100}{20}$ m $= 5$ m เหนือจุดตกจากบอลลูน

ความสูงจากพื้นดินที่ถุงทรายลอยขึ้นไปถึงจึงมีค่าเป็น 80 m

(ข) จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ จะได้ $-75 \;=\; 10t + \frac{1}{2}(-10)t^2 \;=\; 10t - 5t^2$

จึงได้ $5t^2 - 10t - 75 \;=\; 0$ หรือ $5t^2 - 10t - 75 \;=\; 0$

ดังนั้น $t \;=\; \frac{10 \pm \sqrt{(10)^2 - 4(5)(-75)}}{2(5)}$ s $=\; \frac{10 \pm \sqrt{1600}}{10}$ s $=\; \frac{10 \pm 40}{10}$ s $=\; 1 \pm 4$ s

เวลาที่ถุงทรายลอยอยู่ในอากาศจึงมีค่าเป็น 5 s

(ค) จาก $v \;=\; u + gt$ จะได้ $v \;=\; 10 + (-10)(5)$ m/s $=\; -40$ m/s

ความเร็วที่ถุงทรายตกกระทบพื้นจึงมีค่าเป็น 40 m/s

ตัวอย่างที่ 2.22 ถุงทรายตกจากบอลลูนซึ่งลอยอยู่สูงจากพื้น 120 m ถ้าถุงทรายตกกระทบพื้นดินในอีก 4 วินาทีต่อมา อยากทราบว่าขณะถุงทรายตกจากบอลลูนนั้น บอลลูนกำลังลอยขึ้นหรือลอยลงด้วยความเร็วเท่าใด

วิธีทำ จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ เมื่อกำหนดให้ทิศลงเป็นลบ

จะได้ $-120 \;=\; u(4) + \frac{1}{2}(-10)(4)^2 \;=\; 4u - 80$ และ $4u \;= -120 + 80 \;= -40$

ดังนั้น $u \;= -10$ m/s

แสดงว่า ขณะถุงทรายตกจากบอลลูนนั้น บอลลูนกำลังลอยลงด้วยความเร็ว 10 m/s

ข้อสังเกต ตรวจสอบคำตอบของตัวอย่างนี้ได้จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ เมื่อ $u \;= 10$ m/s ทิศพุ่งลงตามแนวดิ่ง

จะได้ $120 \;=\; 10t + \frac{1}{2}(10)t^2 \;=\; 10t + 5t^2$ และ $5t^2 + 10t - 120 \;=\; 0$ หรือ $t^2 + 2t - 24 \;=\; 0$

จึงได้ $(t+6)(t-4) \;=\; 0$ ดังนั้น ถุงทรายตกกระทบพื้นในเวลา $t \;=\; 4$ s

ตัวอย่างที่ 2.23 เด็กชาย A ปล่อยก้อนหินลงมาจากดาดฟ้าตึกจากตำแหน่งสูง 180 m จากพื้นดิน หลังจากนั้น 1 วินาที เด็กชาย B ได้ขว้างก้อนหินอีกก้อนหนึ่งลงไปตรง ๆ จากตำแหน่งความสูงเดียวกัน ถ้าก้อนหินทั้งสองก้อนตกกระทบพื้นดินพร้อมกัน จงหาความเร็วต้นของก้อนหินที่เด็กชาย B ขว้างลงมา

วิธีทำ จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$

สำหรับเด็กชาย A จะได้ $180 \;=\; 0 + \frac{1}{2}(10)t^2 \;=\; 5t^2$ และ $t \;=\; \sqrt{\frac{180}{5}}$ s $= \sqrt{36}$ s $=\; 6$ s

สำหรับเด็กชาย B จะได้ $180 \;=\; u(5) + \frac{1}{2}(10)(5)^2 \;=\; 5u + 125$

จึงได้ $u = \frac{180-125}{5}$ m/s $= \frac{55}{5}$ m/s $=$ 11 m/s

ความเร็วต้นของก้อนหินที่เด็กชาย B ขว้างลงมาจึงมีค่าเป็น 11 m/s

ตัวอย่างที่ 2.24 ปล่อยวัตถุให้ตกลงมาจากยอดหอคอย ถ้าในวินาทีสุดท้ายก่อนตกกระทบพื้น วัตถุตกได้ระยะทาง 9/25 ของระยะทางทั้งหมด จงหาความสูงของหอคอย

วิธีทำ ถ้าหอคอยสูง H เมตร และวัตถุตกกระทบพื้นในเวลา T วินาที

แสดงว่า เมื่อเวลาผ่านไป $T-1$ วินาที วัตถุตกลงมาเป็นระยะทาง $H-(9/25)H = (16/25)H$

จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ จะได้ $H = \frac{1}{2}gT^2$ และ $\frac{16H}{25} = \frac{1}{2}g(T-1)^2$

จึงได้ $\frac{16}{25}\left(\frac{1}{2}gT^2\right) = \frac{1}{2}g(T-1)^2$ และ $\left(\frac{T-1}{T}\right)^2 = \frac{16}{25}$ หรือ $\frac{T-1}{T} = \frac{4}{5}$

ดังนั้น $5T-5 = 4T$ และ $T =$ 5 s

ความสูงของหอคอยจึงมีค่าเป็น $H = \frac{1}{2}(10)(5)^2$ m $=$ 125 m

ตัวอย่างที่ 2.25 เด็กหญิง A ยืนอยู่บนดาดฟ้าตึกซึ่งสูงจากพื้นดิน 20 m ปล่อยลูกบอลให้ตกลงไปในแนวดิ่ง ในขณะเดียวกัน เด็กชาย B ซึ่งยืนอยู่ที่พื้นดินได้โยนก้อนหินสวนขึ้นไปในทันที ด้วยความเร็ว 20 m/s นานเท่าใดวัตถุจึงสวนทางกันและสวนทางกันที่ระยะสูงเท่าใดจากพื้น (ตอบ 1 s, 15 m)

วิธีทำ จาก $h = ut + \frac{1}{2}gt^2$ โดยที่ลูกบอลและก้อนหินใช้เวลาในการเคลื่อนที่เท่ากัน

สำหรับเด็กหญิง A จะได้ $h_1 = 0 + \frac{1}{2}(10)t^2 = 5t^2$

สำหรับเด็กชาย B จะได้ $h_2 = 20t + \frac{1}{2}(-10)t^2 = 20t - 5t^2$

วัตถุทั้งสองจะสวนกันเมื่อเคลื่อนที่ได้ระยะทางรวมกันเท่ากับ 20 m หรือ $h_1 + h_2 = 20$ m

จึงได้ $5t^2 + 20t - 5t^2 = 20$ และ $20t = 20$ ดังนั้น $t = 1$ s

และ $h_2 = 20(1) - 5(1)^2$ m $=$ 15 m

วัตถุทั้งสองจึงสวนทางกันเมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที ที่ความสูง 15 เมตร จากพื้นดิน

ตัวอย่างที่ 2.26 ทิ้งลูกเหล็กลงมาจากที่สูง 5 m ในแนวดิ่ง ลูกเหล็กจมโคลนลงไป 20 cm จึงหยุด จงหาว่าความหน่วงในโคลนมีค่าเท่าใด

วิธีทำ การเคลื่อนที่แบบเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกเป็นการตกลงมาด้วยความเร่งโน้มถ่วงจากจุดทิ้งถึงผิวหน้าโคลน และช่วงที่สองเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความหน่วงในโคลน โดยมีความเร็วต้นเท่ากับความเร็วของลูกเหล็กขณะกระทบผิวหน้าโคลน

การเคลื่อนที่ช่วงแรก

จาก $v^2 = u^2 + 2gh$ จะได้ $v^2 \; = \; 0 + 2(10)(5)$ และ $v \; = \; \sqrt{100}$ m/s $=$ 10 m/s

การเคลื่อนที่ช่วงที่สอง

จาก $v^2 = u^2 + 2as$ จะได้ $0 \; = \; (10)^2 + 2a(0.20)$ และ $a \; = \; -\dfrac{100}{0.40}\ \mathrm{m/s^2} \; = \; -250\ \mathrm{m/s^2}$

ความหน่วงในโคลนจึงมีค่าเป็น 250 $\mathrm{m/s^2}$

ตัวอย่างที่ 2.27 จุดบั้งไฟขึ้นไปในอากาศด้วยความเร่งคงตัว 8 $\mathrm{m/s^2}$ ในแนวดิ่ง ถ้าขึ้นไปได้ 10 s เชื้อเพลิงหมด บั้งไฟนี้จะขึ้นไปได้สูงเท่าใดจากพื้น

วิธีทำ การเคลื่อนที่ของบั้งไฟแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว 8 $\mathrm{m/s^2}$ ในแนวดิ่ง โดยมีความเร็วต้นเป็น 0 และช่วงที่สองเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวเท่ากับความเร่งโน้มถ่วงด้วยความเร็วต้นเท่ากับความเร็วปลายของการเคลื่อนที่ช่วงแรก

การเคลื่อนที่ช่วงแรก

จาก $v \; = \; u + at$ จะได้ $v \; = \; 0 + (8)(10)$ m/s $=$ 80 m/s

ความเร็วปลายของการเคลื่อนที่ช่วงแรกซึ่งเป็นความเร็วต้นของการเคลื่อนที่ช่วงที่สอง จึงมีค่าเป็น 80 m/s

จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ จะได้ $h_1 = 0 + \frac{1}{2}(8)(10)^2\ \mathrm{m} \; = \; 400\ \mathrm{m}$

การเคลื่อนที่ช่วงที่สอง

จาก $v^2 = u^2 + 2gh$ จะได้ $0 = (80)^2 + 2(-10)h_2$ และ $h_2 \; = \; \dfrac{(80)^2}{20}\ \mathrm{m} \; = \; 320\ \mathrm{m}$

บั้งไฟนี้จึงขึ้นไปได้สูงจากพื้น = 400 m + 320 m = 720 m

2.6 การหาระยะทางในวินาทีใด ๆ

ระยะทางในวินาทีใด ๆ คือ ระยะทางในช่วงเวลา 1 วินาที ใด ๆ เช่น

- ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในวินาทีที่ 1 คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในช่วง 0 - 1 วินาที
- ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในวินาทีที่ 2 คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในช่วง 1 - 2 วินาที

ถ้าให้ s_t แทน ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในวินาทีที่ t

s_1 และ s_2 แทนระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป $t-1$ และ t ตามลำดับ

สำหรับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว

จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ จะได้ $s_1 = u(t-1) + \frac{1}{2}a(t-1)^2$ และ $s_2 = ut + \frac{1}{2}at^2$

โดยที่ $s_t = s_2 - s_1$

จึงได้ $s_t = ut + \frac{1}{2}at^2 - u(t-1) - \frac{1}{2}a(t-1)^2 = ut + \frac{1}{2}at^2 - ut + u - \frac{1}{2}a(t^2 - 2t + 1)$

$$= ut + \frac{1}{2}at^2 - ut + u - \frac{1}{2}at^2 + at - \frac{a}{2} = u + at - \frac{a}{2}$$

ดังนั้น

$$s_t = u + a\left(t - \frac{1}{2}\right) \quad \text{…………………….. (2.10)}$$

สำหรับการเคลื่อนที่ภายใต้ความเร่งโน้มถ่วง จะได้

$$h_t = u + g\left(t - \frac{1}{2}\right) \quad \text{…………………….. (2.11)}$$

ตัวอย่างที่ 2.28 อนุภาคหนึ่งเริ่มต้นเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งด้วยความเร่งคงตัว ถ้าในช่วงวินาทีที่ 4 อนุภาคเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 56 m จงหาความเร่งในการเคลื่อนที่ของอนุภาคและความเร็วของอนุภาคที่วินาทีที่ 4

วิธีทำ จาก $s_t = u + a\left(t - \frac{1}{2}\right)$ จะได้ $56 = 0 + a\left(4 - \frac{1}{2}\right) = \frac{7}{2}a$

จึงได้ $a = 56\left(\frac{2}{7}\right)$ m/s^2 = 16 m/s^2

จาก $v = u + at$ จะได้ $v = 0 + (16)(4)$ m/s = 64 m/s

ความเร่งในการเคลื่อนที่ของอนุภาคจึงมีค่าเป็น 16 m/s^2 และความเร็วของอนุภาคที่วินาทีที่ 4 มีค่าเป็น 64 m/s

ตัวอย่างที่ 2.29 รถคันหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว ปรากฏว่าในช่วงวินาทีที่ 10 เคลื่อนที่ได้ทาง 48 เมตร และในวินาทีที่ 15 เคลื่อนที่ได้ทาง 68 เมตร จงหาความเร่งและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่ของรถ

วิธีทำ จาก $s_t = u + a\left(t - \frac{1}{2}\right)$

จะได้ $48 = u + a\left(10 - \frac{1}{2}\right) = u + \frac{19}{2}a$ และ $68 = u + a\left(15 - \frac{1}{2}\right) = u + \frac{29}{2}a$

จึงได้ $68-48 = \frac{29}{2}a-\frac{19}{2}a = 5a$ และ $20 = 5a$ ดังนั้น $a = 4 \text{ m/s}^2$

และ $48 = u+\frac{19}{2}(4) = u+38$ จึงได้ $u = 10$ m/s

ความเร่งและความเร็วต้นในการเคลื่อนที่ของรถจึงมีค่าเป็น 4 m/s^2 และ 10 m/s ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 2.30 ปล่อยลูกบอลให้ตกลงมาในแนวดิ่ง จงหาระยะทางที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ในช่วงวินาทีที่ 5

วิธีทำ จาก $h_t = u+g\left(t-\frac{1}{2}\right)$ จะได้ $h_t = 0+10\left(5-\frac{1}{2}\right)$ m $= 45$ m

ระยะทางที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ในช่วงวินาทีที่ 5 จึงมีค่าเป็น 45 m

ตัวอย่างที่ 2.31 ปล่อยลูกบอลจากที่สูง ถ้าในช่วงวินาทีสุดท้ายก่อนที่วัตถุนั้นจะกระทบพื้น ลูกบอลเคลื่อนที่ ได้ระยะทาง 35 m จุดปล่อยลูกบอลอยู่สูงจากพื้นกี่เมตร

วิธีทำ จาก $h_t = u+g\left(t-\frac{1}{2}\right)$ จะได้ $35 = 0+10\left(t-\frac{1}{2}\right)$ จึงได้ $t = 3.5+0.5$ s $= 4$ s

ช่วงวินาทีเป็นช่วงวินาทีที่ 4 แสดงว่าลูกบอลตกกระทบพื้นหลังจากปล่อยลงมาเป็นเวลา 4 s

จาก $h = ut+\frac{1}{2}gt^2$ จะได้ $h = 0+\frac{1}{2}(10)(4)^2$ m $= 80$ m

ดังนั้น จุดปล่อยลูกบอลอยู่สูงจากพื้น 80 เมตร