IDEAL PHYSICS

BASIC PHYSICS

LINEAR MOTION

PRESENTED BY PEERA B.BUPPAJARN

ideal Online

9140-1100

“ คนส่วนใหญ่ สนใจกับผลระยะสั้นเท่านั้น
แต่คนฉลาดอย่างแท้จริง จะมองไปยังอนาคต ”

« การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง »

ปริมาณในการเคลื่อนที่ 1

เครื่องเคาะสัญญาณเวลา 14

การหาอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้นๆ 15

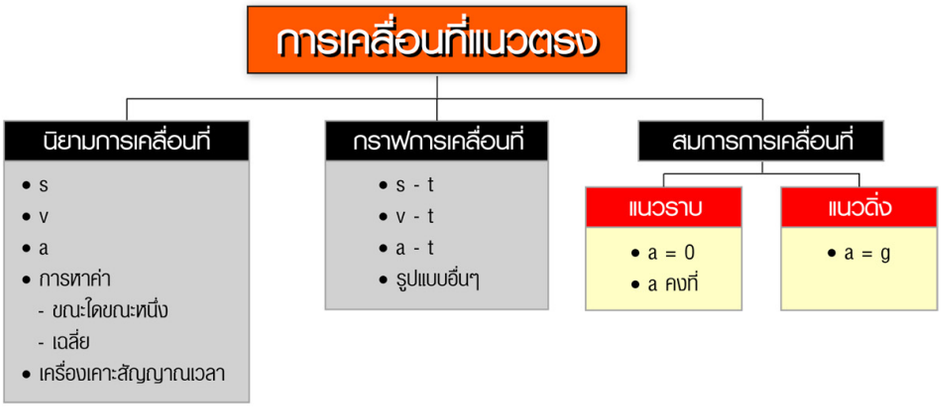
กราฟการเคลื่อนที่ 24

- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา 25
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา 27
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา 28

สมการการเคลื่อนที่ 60

โจทย์ :

- ชุดที่ 1 : นิยามการเคลื่อนที่ 6
- ชุดที่ 2 : เครื่องเคาะสัญญาณเวลา 18
- ชุดที่ 3 : กราฟการกระจัด - เวลา 31
- ชุดที่ 4 : กราฟความเร็ว - เวลา 37
- ชุดที่ 5 : กราฟความเร่ง - เวลา 49
- ชุดที่ 6 : กราฟรูปแบบอื่นๆ 55
- ชุดที่ 7 : สมการการเคลื่อนที่ (แนวราบ) 68
- ชุดที่ 8 : สมการการเคลื่อนที่ (แนวดิ่ง) 89


การเคลื่อนที่แนวตรง
นิยามการเคลื่อนที่
• s
• v
• a
• การหาค่า
- ขณะใดขณะหนึ่ง
- เฉลี่ย
• เครื่องเคาะสัญญาณเวลา
กราฟการเคลื่อนที่
• s - t
• v - t
• a - t
• รูปแบบอื่นๆ
สมการการเคลื่อนที่
แนวราบ
• a = 0
• a คงที่
แนวดิ่ง
• a = g

ปริมาณทางฟิสิกส์ จำแนกออกเป็น สเกลาร์ และ ปริมาณเวคเตอร์

ปริมาณสเกลาร์ หมายถึง ปริมาณที่บ่งบอกให้ทราบแต่ขนาดเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องระบุทิศทาง ก็มีความหมายสมบูรณ์อยู่ในตัวเอง เช่น ความยาว มวล อุณหภูมิ เวลา ปริมาตร พลังงาน เป็นต้น

ปริมาณเวคเตอร์ หมายถึง ปริมาณที่ต้องบ่งบอกให้ทราบทั้งขนาดและทิศทางจึงจะมีความหมายสมบูรณ์ เช่น ความเร็ว ความเร่ง แรงน้ำหนัก โมเมนต์ โมเมนตัม เป็นต้น

ปริมาณในการเคลื่อนที่

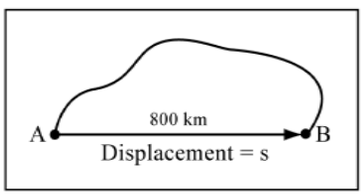
1. การกระจัด (Displacement)

การกระจัดเป็นปริมาณเวคเตอร์ที่ลากจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย ในแนวเส้นตรงของการเคลื่อนที่ในช่วงที่พิจารณา แทนด้วยสัญลักษณ์ $\vec{s}$ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

2. ระยะทาง (Distance)

ระยะทางคือความยาวตามเส้นทางของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ แทนด้วยตัว s มีหน่วยเป็นเมตร (m)

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่งจาก A ไปยัง B ดังรูป โดยที่วัตถุเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งจะได้ว่า



- **ระยะทาง** คือ ความยาวตามเส้นทางโค้งที่วัตถุเคลื่อนที่ไป
- **การกระจัด** คือ เส้นตรงที่ลากจาก A ไปยัง B

หมายเหตุ

ขนาดของการกระจัดจะน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะทางเสมอ ซึ่งขนาดของการกระจัดจะเท่ากับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่โดยไม่เปลี่ยนทิศทาง และวัตถุเคลื่อนที่โดยมีการเปลี่ยนทิศทาง ขนาดของการกระจัดจะน้อยกว่าระยะทางเสมอ

3. ความเร็ว (Velocity)

ความเร็ว หมายถึง การกระจัดที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา ความเร็วเป็นปริมาณเวคเตอร์ แทนด้วย $\vec{v}$ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

สูตรการคำนวณ

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

ความเร็ว มี 2 ประเภท

3.1 **ความเร็วขณะใดๆ** (ใช้สัญลักษณ์ $\vec{v}$) คือ ความเร็วที่เกิดขึ้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ หรือคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงการกระจัดเมื่อการเปลี่ยนแปลงเวลาสั้นมากๆ เราสามารถเขียนในความสัมพันธ์ของสมการได้

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt}$$

3.2 **ความเร็วเฉลี่ย** (ใช้สัญลักษณ์ $\vec{v}_{av}$) คือ อัตราส่วนของการกระจัดต่อเวลา เมื่อการเปลี่ยนแปลงเวลาอยู่ในช่วงยาว เป็นปริมาณเวคเตอร์ ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3 + \ldots + \Delta s_n}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \ldots + \Delta t_n}$$

ข้อควรจำ

1. *ความเร็วเฉลี่ยไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงการกระจัด*
2. *ขนาดของความเร็วเฉลี่ยก็คือขนาดของการเปลี่ยนแปลงการกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา*

4. อัตราเร็ว (Speed)

อัตราเร็วคือระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา แทนด้วยสัญลักษณ์ v เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

อัตราเร็วมี 2 ประเภท คือ

4.1 อัตราเร็วขณะใดๆ (ใช้สัญลักษณ์ v) คือ อัตราส่วนของระยะทางต่อเวลา เมื่อการเปลี่ยนแปลงเวลาอยู่ในช่วงสั้นๆ อัตราเร็วขณะใดๆ จะมีขนาดเท่ากับขนาดของความเร็วขณะนั้นๆ ซึ่งเขียนในความสัมพันธ์

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt}$$

4.2 อัตราเร็วเฉลี่ย (ใช้สัญลักษณ์ v_{av}) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างระยะทางทั้งหมดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด

$$v_{av} = \frac{\text{การกระจัดทั้งหมดที่ได้}}{\text{ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

หมายเหตุ

- *อัตราเร็วขณะใด ๆ ก็คือขนาดของความเร็วขณะนั้นๆ เสมอ*
- *อัตราเร็วเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่ไม่มีการถอยหลังกลับ หรือเปลี่ยนทิศเท่านั้น*

5. ความเร่ง (Acceleration)

ความเร่งคืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเป็นปริมาณเวคเตอร์ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที^{2}

ความเร่งมี 2 ประเภท

5.1 ความเร่งขณะใดๆ (ใช้สัญลักษณ์ $\vec{a}$)

คือ อัตราส่วนของความเร็วต่อเวลา เมื่อการเปลี่ยนแปลงเวลาอยู่ในช่วงสั้นๆ

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \text{ความชันของกราฟ v กับ t ที่จุดนั้น}$$

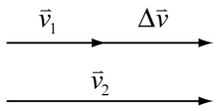
5.2 ความเร่งเฉลี่ย (ใช้สัญลักษณ์ $\vec{a}_{av}$)

คือ อัตราส่วนของความเร็วต่อเวลา เมื่อการเปลี่ยนแปลงเวลาอยู่ในช่วงยาวๆ

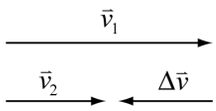
$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_2}{t_2 - t_1}$$

ข้อควรจำ

1. *กรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่*
   จะพบว่า ความเร่งขณะใดขณะหนึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทั้งหมด
2. *ถ้าความเร็วปลาย* $(\vec{v}_2)$ *และความเร็วต้น* $(\vec{v}_1)$ *มีทิศเดียวกัน โดยที่* $(\vec{v}_2 > \vec{v}_1)$
   จะพบว่า $\Delta\vec{v}$ *มีทิศเดียวกับ* $(\vec{v}_1)$ *ความเร่งมีค่าบวก ดังรูป (ก)*
3. *ถ้าความเร็วปลาย* $(\vec{v}_2)$ *และความเร็วต้น* $(\vec{v}_1)$ *มีทิศเดียวกัน โดยที่* $(\vec{v}_2 < \vec{v}_1)$
   จะพบว่า $\Delta\vec{v}$ *มีทิศตรงข้ามกับ* $(\vec{v}_1)$ *ความเร่งมีค่าลบ ดังรูป (ข)*



(ก) เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น



(ข) เมื่อความเร็วลดลง

6. อัตราเร่ง

อัตราเร่งคือขนาดของความเร่งขณะนั้น ๆ และมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

1. ชายคนหนึ่ง ขับรถออกจากบ้านไปทำงานตอนเช้า แล้วกลับถึงบ้านตอนเย็น เราอาจกล่าวได้ว่า ในช่วงวันนี้ ปริมาณใดของชายผู้นี้เป็นศูนย์

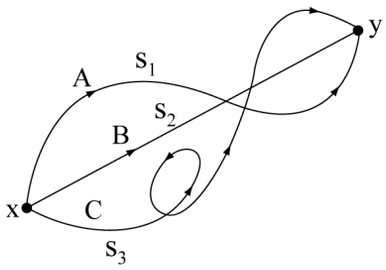
    1. ระยะทาง และ การกระจัด
    2. อัตราเร็วเฉลี่ย และ ความเร็วเฉลี่ย
    3. ระยะทาง และ อัตราเร็วเฉลี่ย
    4. การกระจัด และ ความเร็วเฉลี่ย

2. ถ้านักเรียนคนหนึ่ง เดินออกจากบ้านตรงไปทางทิศเหนือ 200 เมตร แล้วเดินต่อไปทางทิศตะวันออกอีก 200 เมตร เดินต่อไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 100 เมตร แล้วย้อนกลับมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 60 เมตร จึงหยุด ขนาดของการกระจัดในการเดินทางมีค่ากี่เมตร

    1. 280 เมตร
    2. 320 เมตร
    3. 440 เมตร
    4. 560 เมตร

3. อนุภาค A , B และ C เคลื่อนที่จาก x ไป y คนละเส้นทาง โดยเริ่มเคลื่อนที่พร้อมกัน ปรากฏว่าถึง y พร้อมกัน ถ้าให้ v_A , v_B และ v_C เป็นอัตราเร็วเฉลี่ย และ $\vec{v}_A$, $\vec{v}_B$ และ $\vec{v}_C$ เป็นความเร็วเฉลี่ยของ A , B และ C ตามลำดับ จะพบว่า

1. $v_A = v_B = v_C$ แต่ $\vec{v}_A > \vec{v}_C > \vec{v}_B$
2. $v_C > v_A > v_B$ แต่ $\vec{v}_A > \vec{v}_C > \vec{v}_B$
3. $v_C > v_A > v_B$ แต่ $\vec{v}_A = \vec{v}_B = \vec{v}_C$
4. $v_C > v_B > v_A$ แต่ $\vec{v}_A = \vec{v}_B = \vec{v}_C$



4. รถยนต์คันหนึ่ง วิ่งด้วยความเร็ว 40 km/h ใน 10 กิโลเมตรแรก และวิ่งด้วยความเร็ว 60 km/h ใน 10 กิโลเมตรหลัง ความเร็วเฉลี่ยในช่วง 20 กิโลเมตร มีค่าเท่าใด

1. 50 km/h
2. 40 km/h
3. 48 km/h
4. 45 km/h

5. ลิงตัวหนึ่งเมื่อปีนต้นไม้ขึ้นได้ 3 เมตร จะลื่นลงมา 1 เมตร ทุกเวลา 2 นาที ความเร็วเฉลี่ย และอัตราเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่เป็นเท่าไร

1. ความเร็วเฉลี่ย = 1/30 m/s อัตราเร็วเฉลี่ย = 1/30 m/s
2. ความเร็วเฉลี่ย = 1/60 m/s อัตราเร็วเฉลี่ย = 1/60 m/s
3. ความเร็วเฉลี่ย = 1/30 m/s อัตราเร็วเฉลี่ย = 1/60 m/s
4. ความเร็วเฉลี่ย = 1/60 m/s อัตราเร็วเฉลี่ย = 1/30 m/s

6. รถมอเตอร์ไซค์คันหนึ่ง เคลื่อนที่ตลอดระยะทาง ด้วยอัตราเร็วเป็น 3 ช่วง ดังนี้
ช่วง 1/3 ของระยะทางทั้งหมดในช่วงแรก วิ่งด้วยอัตราเร็ว 10 km/h
ช่วง 1/3 ของระยะทางทั้งหมดในช่วงที่สอง วิ่งด้วยอัตราเร็ว 20 km/h
และช่วง 1/3 ของระยะทางทั้งหมดในช่วงสุดท้าย วิ่งด้วยอัตราเร็ว 60 km/h
จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยตลอดเส้นทาง

7. วัตถุชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา เป็นไปตามสมการ $x = 2t^2 + 5$ จงหาว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 วินาที วัตถุมีความเร็วเฉลี่ยเท่าใด

1. 5 m/s
2. 6 m/s
3. 9 m/s
4. 18 m/s

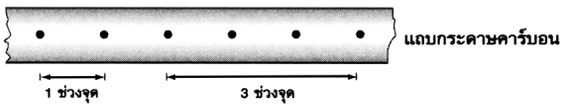
8. วัตถุชิ้นหนึ่ง กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8 m/s ในทิศตะวันออก ต่อมาอีก 5 วินาที วัตถุนี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 m/s ในทิศเหนือ จงหาความเร่งเฉลี่ยของวัตถุในการเคลื่อนที่ครั้งนี้

1. 10 m/s^2 , ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
2. 10 m/s^2 , ทิศทำมุม 37 องศา กับทิศเหนือไปทางตะวันตก
3. 2 m/s^2 , ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
4. 2 m/s^2 , ทิศทำมุม 53 องศา กับทิศเหนือไปทางตะวันตก

เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

เครื่องเคาะสัญญาณเวลา เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาอัตราเร็วของแถบกระดาษ โดยการทำงานของเครื่องอาศัยความถี่ของกระแสไฟฟ้าขนาด 50 รอบ/วินาที จะทำให้ตะปูเข็มซึ่งเป็นตัวเคาะที่ทำให้เกิดจุดบนแถบกระดาษคาร์บอนเคาะ 50 ครั้ง ในเวลา 1 วินาที ดังนั้นช่วงเวลาการเคาะแต่ละครั้ง จะห่างกัน 1/50 วินาที

∴ ระยะเวลา 1 ช่วงจุด = 1/50 วินาที

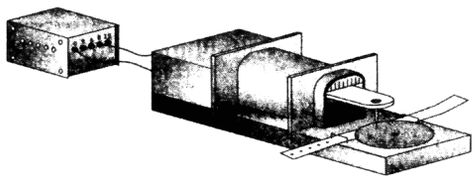


จากรูป เวลา 3 ช่วงจุด $3\left(\frac{1}{50}\right) = \frac{3}{50}$ วินาที

ข้อควรจำ

1. *ถ้าจุดบนแถบกระดาษมีระยะห่างของช่วงจุดเท่ากัน แสดงว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่*
2. *ถ้าจุดบนแถบกระดาษมีระยะห่างของช่วงจุดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงจุดที่ต่อเนื่องกันไป แสดงว่าวัตถุนั้น เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่*

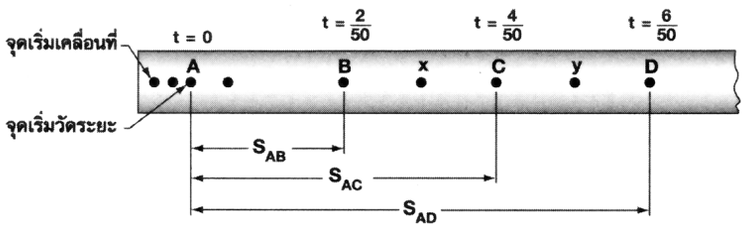
จากตัวอย่างแถบกระดาษที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังรูป



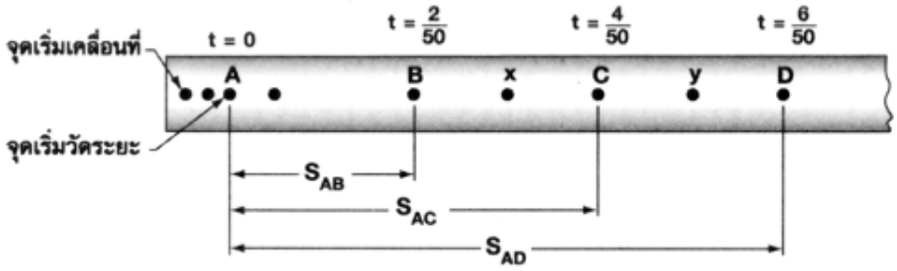
รูปเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

พิจารณาจุดบนแถบกระดาษ กำหนดจุดเริ่มวัดระยะทางได้สะดวกเป็นจุดเริ่มต้น จับเวลา (จุด A) และ ณ ตำแหน่งนั้น ให้ $t = 0$ ให้ถือเสมอว่า การเว้นเคาะสัญญาณทุกๆ หนึ่งช่วงจุด จะให้เวลาเท่ากับ 1/50 วินาที กำหนดจุด A , B , C และ D ลงบนแถบกระดาษ โดยห่างกันสองช่วงจุด ดังนั้น

- จากจุด A ถึง B วัดระยะทางได้ S_{AB} ใช้เวลา 2/50 วินาที
- จากจุด A ถึง C วัดระยะทางได้ S_{AC} ใช้เวลา 4/50 วินาที
- จากจุด A ถึง D วัดระยะทางได้ S_{AD} ใช้เวลา 6/50 วินาที



รูปแถบกระดาษที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา



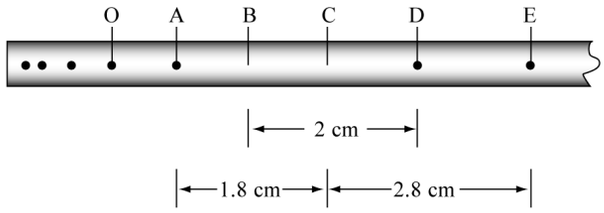
รูปแถบกระดาษที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วง AB	$(V_{av})_{AB} = \frac{S_{AB}}{2/50} = 25S_{AB}$ m/s
อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วง BC	$(V_{av})_{BC} = \frac{S_{AC} - S_{AB}}{(4/50)-(2/50)} = 25(S_{AC} - S_{AB})$ m/s
อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วง CD	$(V_{av})_{CD} = \frac{S_{AD} - S_{AC}}{(6/50)-(4/50)} = 25(S_{AD} - S_{AC})$ m/s

หลักเกณฑ์

1. อัตราเร็วที่จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือ อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงจุดสั้นๆ รอบจุดดังกล่าว ซึ่งคิดระยะไปทางซ้าย 1 ช่วงจุด และทางขวาอีก 1 ช่วงจุด
2. ความเร่งเฉลี่ยในช่วงจุด 2 จุด ก็คือ ความเร่งเฉลี่ยที่จุดซึ่งอยู่ระหว่างจุด 2 จุด ดังกล่าว โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วระหว่าง 2 จุดนั้น

ตัวอย่างการคำนวณแถบกระดาษ



1. ความเร็วเฉลี่ยในช่วง AE

$$v_{av}(AE) = \frac{(1.8+2.8)\times10^{-2}}{(4/50)} = 0.575 \text{ m/s}$$

2. ความเร็วที่จุด C หาจากความเร็วเฉลี่ยในช่วงสั้นๆ คือ ช่วง BD โดยที่

$$v_C = v_{av}(BD) = \frac{2\times10^{-2}}{2/50} = 0.50 \text{ m/s}$$

3. ความเร็วที่จุด B หาจากความเร็วเฉลี่ยในช่วงสั้นๆ คือ ช่วง AC โดยที่

$$v_B = v_{av}(AC) = \frac{1.8\times10^{-2}}{2/50} = 0.45 \text{ m/s}$$

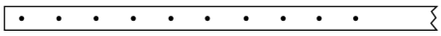
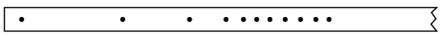
4. ความเร็วที่จุด D หาจากความเร็วเฉลี่ยในช่วงสั้นๆ คือ ช่วง CE โดยที่

$$v_D = v_{av}(CE) = \frac{2.8\times10^{-2}}{2/50} = 0.7 \text{ m/s}$$

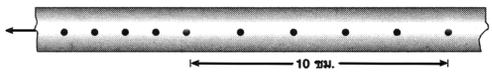
5. ความเร่งเฉลี่ยในช่วง BD จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร่งที่จุด C ซึ่งใช้แทนกันได้

$$a_{av}(BD) = a_c = \frac{0.70-0.45}{(2/50)} = 6.25 \text{ m/s}^2$$

1. จากแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณ 4 แถบ แถบใดบ้างที่อาจกล่าวได้ว่า มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ถ้าจุดซ้ายมือเป็นจุดแรกของการเคาะ

1.
2. 
3.
4. 

2. จากการทดลอง เมื่อลากแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา (เคาะ 50 ครั้ง ในเวลา 1 วินาที) ปรากฏจุดบนแถบกระดาษ ดังรูป จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยช่วงระยะ AB



3.1 จากการวัดระยะทางใน 2 ช่วงจุด ณ เวลาตรงกึ่งกลางแต่ละช่วง บนแถบกระดาษที่ถูกดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ได้ค่าตามตาราง

เวลาตรงกึ่งกลางแต่ละช่วง (s)	ระยะทาง 2 ช่วงจุด (cm)
1/50	2.8
3/50	4.2
5/50	5.8
…	…

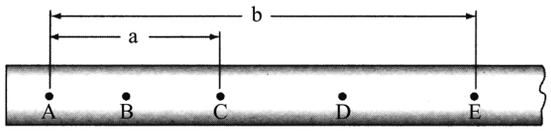
ความเร็วขณะหนึ่ง ณ เวลา 3/50 และ 5/50 มีค่าเป็นเท่าไร

1. 0.35 m/s , 0.4 m/s
2. 35 m/s , 40 m/s
3. 105 m/s , 145 m/s
4. 1.05 m/s , 145 m/s

3.2 จากโจทย์ข้อ 3.1 จงคำนวณหาความเร่งเฉลี่ย ณ เวลา 4/50 วินาที

1. 10 m/s^2
2. 125 m/s^2
3. 1,000 m/s^2
4. 1.25 m/s^2

ในการใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา ซึ่งมีความถี่ในการเคาะเป็น f ครั้งต่อวินาที ปรากฏจุดบนแถบกระดาษ ดังรูป



4.1 อัตราเร็วเฉลี่ย ณ เวลา 1/f มีค่าเท่าใด

1. 1/2 af
2. 3/2 af
3. 1/2 af^2
4. 3/2 af^2

4.2 ความเร่งเฉลี่ยในช่วงจุด B และ จุด D เป็นเท่าใด

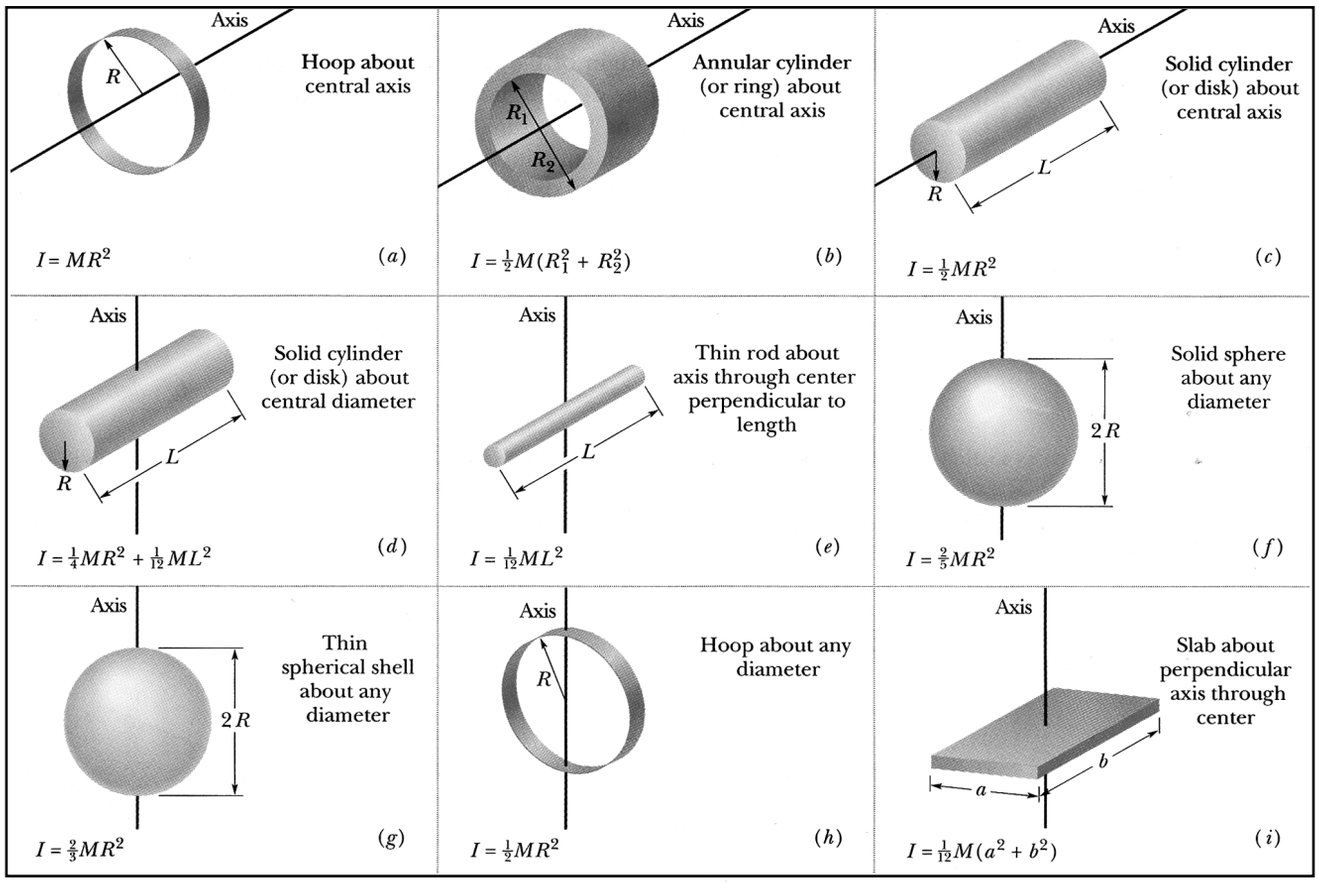
1. $\frac{f^2}{4}(b-a)$
2. $\frac{f}{2}(b-a)^2$
3. $\frac{f^2}{4}(b-2a)$
4. $\frac{f}{2}(b-2a)^2$

Some Fundamental Constants of Physics*

Constant	Symbol	Computational Value	Best (1998) Value	
			Value[a]	Uncertainty[b]
Speed of light in a vacuum	c	3.00×10^{8} m/s	2.997 924 58	exact
Elementary charge	e	1.60×10^{-19} C	1.602 176 462	0.039
Gravitational constant	G	6.67×10^{-11} $m^3/s^2 \cdot kg$	6.673	1500
Universal gas constant	R	8.31 J/mol · K	8.314 472	1.7
Avogadro constant	N_A	6.02×10^{23} mol^{-1}	6.022 141 99	0.079
Boltzmann constant	k	1.38×10^{-23} J/K	1.380 650 3	1.7
Stefan–Boltzmann constant	σ	5.67×10^{-8} $W/m^2 \cdot K^4$	5.670 400	7.0
Molar volume of ideal gas at STP[d]	V_m	2.27×10^{-2} m^3/mol	2.271 098 1	1.7
Permittivity constant	ϵ_0	8.85×10^{-12} F/m	8.854 187 817 62	exact
Permeability constant	μ_0	1.26×10^{-6} H/m	1.256 637 061 43	exact
Planck constant	h	6.63×10^{-34} J · s	6.626 068 76	0.078
Electron mass[c]	m_e	9.11×10^{-31} kg	9.109 381 88	0.079
		5.49×10^{-4} u	5.485 799 110	0.0021
Proton mass[c]	m_p	1.67×10^{-27} kg	1.672 621 58	0.079
		1.0073 u	1.007 276 466 88	1.3×10^{-4}
Ratio of proton mass to electron mass	m_p/m_e	1840	1836.152 667 5	0.0021
Electron charge-to-mass ratio	e/m_e	1.76×10^{11} C/kg	1.758 820 174	0.040
Neutron mass[c]	m_n	1.68×10^{-27} kg	1.674 927 16	0.079
		1.0087 u	1.008 664 915 78	5.4×10^{-4}
Hydrogen atom mass[c]	$m_{^1H}$	1.0078 u	1.007 825 031 6	0.0005
Deuterium atom mass[c]	$m_{^2H}$	2.0141 u	2.014 101 777 9	0.0005
Helium atom mass[c]	$m_{^4He}$	4.0026 u	4.002 603 2	0.067
Muon mass	m_μ	1.88×10^{-28} kg	1.883 531 09	0.084
Electron magnetic moment	μ_e	9.28×10^{-24} J/T	9.284 763 62	0.040
Proton magnetic moment	μ_p	1.41×10^{-26} J/T	1.410 606 663	0.041
Bohr magneton	μ_B	9.27×10^{-24} J/T	9.274 008 99	0.040
Nuclear magneton	μ_N	5.05×10^{-27} J/T	5.050 783 17	0.040
Bohr radius	r_B	5.29×10^{-11} m	5.291 772 083	0.0037
Rydberg constant	R	1.10×10^{7} m^{-1}	1.097 373 156 854 8	7.6×10^{-6}
Electron Compton wavelength	λ_C	2.43×10^{-12} m	2.426 310 215	0.0073

[a]Values given in this column should be given the same unit and power of 10 as the computational value.

[b]Parts per million.



Standard Prefixes Used to Denote Multiples of Ten

Prefix	Symbol	Factor
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
Hecto	h	10^{2}
Deka	da	10^{1}
Deci	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}

Basic Mathematical Formulas

Area of a circle $= \pi r^2$

Circumference of a circle $= 2\pi r$

Surface area of a sphere $= 4\pi r^2$

Volume of a sphere $= \frac{4}{3}\pi r^3$

Pythagorean theorem: $h^2 = h_o^2 + h_a^2$

Sine of an angle: $\sin\theta = h_o/h$

Cosine of an angle: $\cos\theta = h_a/h$

Tangent of an angle: $\tan\theta = h_o/h_a$

Law of cosines: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$

Law of sines: $a/\sin\alpha = b/\sin\beta = c/\sin\gamma$

Quadratic formula:

If $ax^2 + bx + c = 0$, then, $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})/(2a)$

The Greek Alphabet

Alpha	A	α	Iota	I	ι	Rho	P	ρ
Beta	B	β	Kappa	K	κ	Sigma	Σ	σ
Gamma	Γ	γ	Lambda	Λ	λ	Tau	T	τ
Delta	Δ	δ	Mu	M	μ	Upsilon	Υ	υ
Epsilon	E	ϵ	Nu	N	ν	Phi	Φ	ϕ
Zeta	Z	ζ	Xi	Ξ	ξ	Chi	X	χ
Eta	H	η	Omicron	O	o	Psi	Ψ	ψ
Theta	Θ	θ	Pi	Π	π	Omega	Ω	ω

Conversion Factors

Time

	y	d	h	min	SECOND
1 year =	1	365.25	8.766×10^{3}	5.259×10^{5}	3.156×10^{7}
1 day =	2.738×10^{-3}	1	24	1440	8.640×10^{4}
1 hour =	1.141×10^{-4}	4.167×10^{-2}	1	60	3600
1 minute =	1.901×10^{-6}	6.944×10^{-4}	1.667×10^{-2}	1	60
1 SECOND =	3.169×10^{-8}	1.157×10^{-5}	2.778×10^{-4}	1.667×10^{-2}	1

Mass

	g	KILOGRAM	slug	u	oz	lb	ton
1 gram =	1	0.001	6.852×10^{-5}	6.022×10^{23}	3.527×10^{-2}	2.205×10^{-3}	1.102×10^{-6}
1 KILOGRAM =	1000	1	6.852×10^{-2}	6.022×10^{26}	35.27	2.205	1.102×10^{-3}
1 slug =	1.459×10^{4}	14.59	1	8.786×10^{27}	514.8	32.17	1.609×10^{-2}
1 atomic mass unit =	1.661×10^{-24}	1.661×10^{-27}	1.138×10^{-28}	1	5.857×10^{-26}	3.662×10^{-27}	1.830×10^{-30}
1 ounce =	28.35	2.835×10^{-2}	1.943×10^{-3}	1.718×10^{25}	1	6.250×10^{-2}	3.125×10^{-5}
1 pound =	453.6	0.4536	3.108×10^{-2}	2.732×10^{26}	16	1	0.0005
1 ton =	9.072×10^{5}	907.2	62.16	5.463×10^{29}	3.2×10^{4}	2000	1

Length

	cm	METER	km	in.	ft	mi
1 centimeter =	1	10^{-2}	10^{-5}	0.3937	3.281×10^{-2}	6.214×10^{-6}
1 METER =	100	1	10^{-3}	39.37	3.281	6.214×10^{-4}
1 kilometer =	10^{5}	1000	1	3.937×10^{4}	3281	0.6214
1 inch =	2.540	2.540×10^{-2}	2.540×10^{-5}	1	8.333×10^{-2}	1.578×10^{-5}
1 foot =	30.48	0.3048	3.048×10^{-4}	12	1	1.894×10^{-4}
1 mile =	1.609×10^{5}	1609	1.609	6.336×10^{4}	5280	1

Speed

	ft/s	km/h	METER/SECOND	mi/h	cm/s
1 foot per second =	1	1.097	0.3048	0.6818	30.48
1 kilometer per hour =	0.9113	1	0.2778	0.6214	27.78
1 METER per SECOND =	3.281	3.6	1	2.237	100
1 mile per hour =	1.467	1.609	0.4470	1	44.70
1 centimeter per second =	3.281×10^{-2}	3.6×10^{-2}	0.01	2.237×10^{-2}	1

Force

	dyne	NEWTON	lb	pdl	gf	kgf
1 dyne =	1	10^{-5}	2.248×10^{-6}	7.233×10^{-5}	1.020×10^{-3}	1.020×10^{-6}
1 NEWTON =	10^{5}	1	0.2248	7.233	102.0	0.1020
1 pound =	4.448×10^{5}	4.448	1	32.17	453.6	0.4536
1 poundal =	1.383×10^{4}	0.1383	3.108×10^{-2}	1	14.10	1.410×10^{2}
1 gram-force =	980.7	9.807×10^{-3}	2.205×10^{-3}	7.093×10^{-2}	1	0.001
1 kilogram-force =	9.807×10^{5}	9.807	2.205	70.93	1000	1

Area

	METER^2	cm^2	ft^2	in.^{2}
1 SQUARE METER =	1	10^4	10.76	1550
1 square centimeter =	10^{-4}	1	1.076×10^{-3}	0.1550
1 square foot =	9.290×10^{-2}	929.0	1	144
1 square inch =	6.452×10^{-4}	6.452	6.944×10^{-3}	1

Volume

	METER^3	cm^3	L	ft^3	in.^{3}
1 CUBIC METER =	1	10^6	1000	35.31	6.102×10^4
1 cubic centimeter =	10^{-6}	1	1.000×10^{-3}	3.531×10^{-5}	6.102×10^{-2}
1 liter =	1.000×10^{-3}	1000	1	3.531×10^{-2}	61.02
1 cubic foot =	2.832×10^{-2}	2.832×10^4	28.32	1	1728
1 cubic inch =	1.639×10^{-5}	16.39	1.639×10^{-2}	5.787×10^{-4}	1

Density

	slug/ft^3	KILOGRAM/ METER^3	g/cm^3	lb/ft^3	lb/in.^{3}
1 slug per foot^3 =	1	515.4	0.5154	32.17	1.862×10^{-2}
1 KILOGRAM per METER^3 =	1.940×10^{-3}	1	0.001	6.243×10^{-2}	3.613×10^{-5}
1 gram per centimeter^3 =	1.940	1000	1	62.43	3.613×10^{-2}
1 pound per foot^3 =	3.108×10^{-2}	16.02	16.02×10^{-2}	1	5.787×10^{-4}
1 pound per inch^3 =	53.71	2.768×10^4	27.68	1728	1

Pressure

	atm	dyne/cm^2	inch of water	cm Hg	PASCAL	lb/in.^{2}	lb/ft^2
1 atmosphere =	1	1.013×10^6	406.8	76	1.013×10^5	14.70	2116
1 dyne per centimeter^2 =	9.869×10^{-7}	1	4.015×10^{-4}	7.501×10^{-5}	0.1	1.405×10^{-5}	2.089×10^{-3}
1 inch of water[a] at 4°C =	2.458×10^{-3}	2491	1	0.1868	249.1	3.613×10^{-2}	5.202
1 centimeter of mercury[a] at 0°C =	1.316×10^{-2}	1.333×10^4	5.353	1	1333	0.1934	27.85
1 PASCAL =	9.869×10^{-6}	10	4.015×10^{-3}	7.501×10^{-4}	1	1.450×10^{-4}	2.089×10^{-2}
1 pound per inch^2 =	6.805×10^{-2}	6.895×10^4	27.68	5.171	6.895×10^3	1	144
1 pound per foot^2 =	4.725×10^{-4}	478.8	0.1922	3.591×10^{-2}	47.88	6.944×10^{-3}	1

Plane Angle

	°	′	″	RADIAN	rev
1 degree =	1	60	3600	1.745×10^{-2}	2.778×10^{-3}
1 minute =	1.667×10^{-2}	1	60	2.909×10^{-4}	4.630×10^{-5}
1 second =	2.778×10^{-4}	1.667×10^{-2}	1	4.848×10^{-6}	7.716×10^{-7}
1 RADIAN =	57.30	3438	2.063×10^5	1	0.1592
1 revolution =	360	2.16×10^4	1.296×10^6	6.283	1

1. $\frac{dx}{dx} = 1$
2. $\frac{d}{dx}(au) = a\frac{du}{dx}$
3. $\frac{d}{dx}(u + v) = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dx}$
4. $\frac{d}{dx}x^m = mx^{m-1}$
5. $\frac{d}{dx}\ln x = \frac{1}{x}$
6. $\frac{d}{dx}(uv) = u\frac{dv}{dx} + v\frac{du}{dx}$
7. $\frac{d}{dx}e^x = e^x$
8. $\frac{d}{dx}\sin x = \cos x$
9. $\frac{d}{dx}\cos x = -\sin x$
10. $\frac{d}{dx}\tan x = \sec^2 x$
11. $\frac{d}{dx}\cot x = -\csc^2 x$
12. $\frac{d}{dx}\sec x = \tan x \sec x$
13. $\frac{d}{dx}\csc x = -\cot x \csc x$
14. $\frac{d}{dx}e^u = e^u\frac{du}{dx}$
15. $\frac{d}{dx}\sin u = \cos u\frac{du}{dx}$
16. $\frac{d}{dx}\cos u = -\sin u\frac{du}{dx}$

---

1. $\int dx = x$
2. $\int au\,dx = a\int u\,dx$
3. $\int (u + v)\,dx = \int u\,dx + \int v\,dx$
4. $\int x^m\,dx = \frac{x^{m+1}}{m+1} \quad (m \neq -1)$
5. $\int \frac{dx}{x} = \ln|x|$
6. $\int u\frac{dv}{dx}\,dx = uv - \int v\frac{du}{dx}\,dx$
7. $\int e^x\,dx = e^x$
8. $\int \sin x\,dx = -\cos x$
9. $\int \cos x\,dx = \sin x$
10. $\int \tan x\,dx = \ln|\sec x|$
11. $\int \sin^2 x\,dx = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4}\sin 2x$
12. $\int e^{-ax}\,dx = -\frac{1}{a}e^{-ax}$
13. $\int xe^{-ax}\,dx = -\frac{1}{a^2}(ax + 1)e^{-ax}$
14. $\int x^2e^{-ax}\,dx = -\frac{1}{a^3}(a^2x^2 + 2ax +$
15. $\int_0^\infty x^ne^{-ax}\,dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$
16. $\int_0^\infty x^{2n}e^{-ax^2}\,dx = \frac{1\cdot 3\cdot 5\cdot\cdots\cdot(2n\cdot}{2^{n+1}a^n}$
17. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2})$
18. $\int \frac{x\,dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = -\frac{1}{(x^2 + a^2)^{1/2}}$
19. $\int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2(x^2 + a^2)^{1/2}}$
20. $\int_0^\infty x^{2n+1}e^{-ax^2}\,dx = \frac{n!}{2a^{n+1}} \quad (a > 0$
21. $\int \frac{x\,dx}{x + d} = x - d\ln(x + d)$

Table Useful Trigonometric Identities

$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$

$\sin(-\theta) = -\sin\theta$

$\cos(-\theta) = \cos\theta$

$\tan(-\theta) = -\tan\theta$

$\sin(180° \pm \theta) = \mp \sin\theta$

$\cos(180° \pm \theta) = -\cos\theta$

$\tan(180° \pm \theta) = \pm \tan\theta$

$\sin(90° \pm \beta) = \cos\beta$

$\cos(90° \pm \beta) = \mp \sin\beta$

$\sin 2\theta = 2 \sin\theta \cos\theta$

$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$
$= 2\cos^2\theta - 1 = 1 - 2\sin^2\theta$

$\tan 2\theta = \dfrac{2\tan\theta}{1 - \tan^2\theta}$

$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha \cos\beta \pm \cos\alpha \sin\beta$

$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha \cos\beta \mp \sin\alpha \sin\beta$

$\tan(\alpha \pm \beta) = \dfrac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\alpha \tan\beta}$

$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right]\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right]$

$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right]\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right]$

$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right]\cos\left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right]$

$\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right]\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right]$

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

http://www.ktf-split.hr/periodni/en/

PERIOD	1 IA												13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1	1 1.0079 H HYDROGEN	2 IIA																2 4.0026 He HELIUM
2	3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BERYLLIUM											5 10.811 B BORON	6 12.011 C CARBON	7 14.007 N NITROGEN	8 15.999 O OXYGEN	9 18.998 F FLUORINE	10 20.180 Ne NEON
3	11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNESIUM	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIIIB	10	11 IB	12 IIB	13 26.982 Al ALUMINIUM	14 28.086 Si SILICON	15 30.974 P PHOSPHORUS	16 32.065 S SULPHUR	17 35.453 Cl CHLORINE	18 39.948 Ar ARGON
4	19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANIUM	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROMIUM	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe IRON	27 58.933 Co COBALT	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu COPPER	30 65.39 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SELENIUM	35 79.904 Br BROMINE	36 83.80 Kr KRYPTON
5	37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.94 Mo MOLYBDENUM	43 (98) Tc TECHNETIUM	44 101.07 Ru RUTHENIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag SILVER	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn TIN	51 121.76 Sb ANTIMONY	52 127.60 Te TELLURIUM	53 126.90 I IODINE	54 131.29 Xe XENON
6	55 132.91 Cs CAESIUM	56 137.33 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthanide	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALUM	74 183.84 W TUNGSTEN	75 186.21 Re RHENIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATINUM	79 196.97 Au GOLD	80 200.59 Hg MERCURY	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.2 Pb LEAD	83 208.98 Bi BISMUTH	84 (209) Po POLONIUM	85 (210) At ASTATINE	86 (222) Rn RADON
7	87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinide	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (266) Sg SEABORGIUM	107 (264) Bh BOHRIUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (268) Mt MEITNERIUM	110 (281) Uun UNUNNILIUM	111 (272) Uuu UNUNUNIUM	112 (285) Uub UNUNBIUM		114 (289) Uuq UNUNQUADIUM				

RELATIVE ATOMIC MASS (1)
GROUP IUPAC
GROUP CAS
ATOMIC NUMBER
SYMBOL
ELEMENT NAME
5 10.811 13 IIIA B BORON

Metal — Semimetal — Nonmetal
1 Alkali metal
2 Alkaline earth metal
Transition metals
Lanthanide
Actinide
16 Chalcogens element
17 Halogens element
18 Noble gas

STANDARD STATE (25 °C; 101 kPa)
Ne - gas
Ga - liquid
Fe - solid
Tc - synthetic

LANTHANIDE

57 138.91 La LANTHANUM	58 140.12 Ce CERIUM	59 140.91 Pr PRASEODYMIUM	60 144.24 Nd NEODYMIUM	61 (145) Pm PROMETHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.04 Yb YTTERBIUM	71 174.97 Lu LUTETIUM

ACTINIDE

89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URANIUM	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMERICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKELIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEVIUM	102 (259) No NOBELIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001)
Relative atomic mass is shown with five significant figures. For elements have no stable nuclides, the value enclosed in brackets indicates the mass number of the longest-lived isotope of the element.
However three such elements (Th, Pa, and U) do have a characteristic terrestrial isotopic composition, and for these an atomic weight is tabulated.

Editor: Aditya Vardhan (adivar@nettlinx.com)

Copyright © 1998-2003 EniG. (eni@ktf-split.hr)

IDEAL PHYSICS

ideal Online

เรียนออนไลน์ ได้ทุกที่ ทุกเวลา

CALL : 087-911-7000

www.idealphysics.com