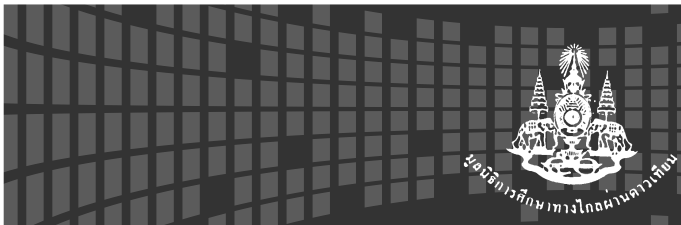


แบรนด์ ซัมเมอร์แคมป์ 2011

จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร่วมกับ มูลนิธิการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม
มูลนิธิเพื่อพัฒนาการศึกษาไทย

สนับสนุนโดย แบรนด์ซุปไก่สกัด

ครั้งที่ 22

ด้วยความร่วมมือจาก

- บริษัท เซเรบอส (ประเทศไทย) จำกัด
- เครือเบทาโกร
- บริษัท ไทยยามาฮ่ามอเตอร์ จำกัด

เอกสารประกอบคำบรรยาย

วิชา ฟิสิกส์

ส่วนที่ 1 (O NET)..... โดย อ.ธนวัฒน์ ธะนะ..... หน้า 2-43
ส่วนที่ 2 (PAT 2)..... โดย ดร.สุรเชษฐ์ หลิมกำเนิด..... หน้า 44-88
ส่วนที่ 3 (PAT 2)..... โดย ดร.อนวรรตน์ เกตุคง..... หน้า 89-160

ประสานงานอาจารย์และจัดพิมพ์โดย **ชมรมบัณฑิตแนะแนว**

แจกฟรี ห้ามจำหน่าย

แรง

แรง (Force : F) คือ ปริมาณที่พยายามจะเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของมวล เป็นปริมาณเวกเตอร์มีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton : N)

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

1. **กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน (Newton's first law of motion)**

"วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่ง หรือคงสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ นอกจากจะมีแรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุนั้น"

2. **กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน (Newton's second law of motion)**

"เมื่อแรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง โดยทิศของความเร่งจะมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุ ขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ เมื่อมวลคงที่ และขนาดความเร่งจะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ เมื่อแรงลัพธ์คงที่"

3. **กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน (Newton's third law of motion)**

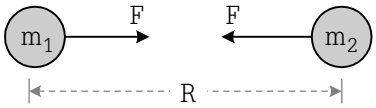
"ทุกแรงกิริยาจะต้องมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้ามเสมอ"

ข้อควรรู้

1. แรงกิริยา-ปฏิกิริยา มีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้ามเสมอ ไม่ว่าวัตถุจะอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ก็ตาม
2. แรงกิริยา-ปฏิกิริยา ไม่สามารถนำมารวมกัน หรือหาแรงลัพธ์ได้ เนื่องจากแรงทั้งสองกระทำต่อวัตถุคนละก้อน
3. แรงกิริยา-ปฏิกิริยา เกิดขึ้นได้ทั้งกรณีที่วัตถุสัมผัสกันหรือไม่สัมผัสก็ได้ เช่น แรงดึงดูดระหว่างมวล, แรงระหว่างประจุไฟฟ้า, แรงระหว่างขั้วแม่เหล็ก เป็นต้น

กฎการดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

"วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะออกแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน แรงดึงดูดของวัตถุคู่หนึ่งๆ จะแปรผันตรงกับผลคูณระหว่างมวลวัตถุทั้งสองและจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง"



$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$$

G = ค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล (Universal Gravitational Constant) = 6.673×10^{-11} Nm^2/kg^2

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

วัตถุใดๆ อยู่บนโลกจะเกิดแรงที่โลกดูดต่อวัตถุ ถ้าให้โลกมีมวล M และวัตถุมวล m และ R_E เป็นรัศมีของโลกจากกฎการดึงดูดระหว่างมวล $F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$

จะได้ $F = \frac{GMm}{R_E^2}$

จากสมการจะเห็นว่า G, M และ R_E เป็นค่าคงที่ ดังนั้น $\frac{GM}{R_E^2}$ จึงคงที่ให้เท่ากับ g นั่นคือ $g = \frac{GM}{R_E^2}$

โดยที่โลกมีมวล 5.98×10^{24} kg รัศมีเฉลี่ยของโลก 6.38×10^6 m เมื่อแทนค่า

$$g = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{(6.38 \times 10^6)^2}$$

$$= 9.80 \text{ m/s}^2$$

น้ำหนักของวัตถุ

เนื่องจากวัตถุที่อยู่บนโลกจะมีแรงที่โลกดูดวัตถุ เราจะให้น้ำหนักวัตถุ คือ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุ ทิศของน้ำหนักจะมีทิศพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางของโลก มีหน่วยเป็นนิวตัน

จาก $F = \frac{GMm}{R_E^2}$ จะได้ $\boxed{W = mg}$

1. เมื่ออยู่บนดวงจันทร์ชั่งน้ำหนักของวัตถุที่มีมวล 10 กิโลกรัม ได้ 16 นิวตัน ถ้าปล่อยให้วัตถุตกที่บนผิวดวงจันทร์ วัตถุมีความเร่งเท่าใด

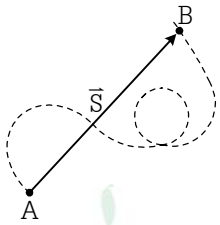
1) 1.6 m/s^2 2) 3.2 m/s^2 3) 6.4 m/s^2 4) 9.6 m/s^2

2. วัตถุอันหนึ่งเมื่ออยู่บนโลกที่มีสนามโน้มถ่วง g พบว่ามีน้ำหนักเท่ากับ W_1 ถ้านำวัตถุนี้ไปไว้บนดาวเคราะห์อีกดวงพบว่ามีน้ำหนัก W_2 จงหามวลของวัตถุนี้

1) $\frac{W_1}{g}$ 2) $\frac{W_2}{g}$ 3) $\frac{W_1 + W_2}{g}$ 4) $\frac{W_1 - W_2}{g}$

การเคลื่อนที่

1. ระยะทาง (Distance) คือ ความยาวตามเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นปริมาณสเกลาร์ ดังรูป วัตถุเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ตามแนวเส้นประ ระยะทางของการเคลื่อนที่ก็คือระยะตามแนวเส้นประนั่นเอง



2. การกระจัด (Displaceme) คือ ระยะทางในแนวตรงจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้ายของวัตถุ และมีทิศจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้ายเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังรูป การกระจัดของการเคลื่อนที่จาก A ไป B จะเท่ากับระยะ $\vec{S}$ มีทิศจาก A ไป B หรือ $\overrightarrow{AB}$ ขนาดของการกระจัดจะน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะทางเสมอ

3. อัตราเร็ว (Speed) คือ อัตราส่วนระหว่าง**ระยะทางที่ได้**กับ**เวลาที่ใช้** เป็นปริมาณสเกลาร์

$$\text{อัตราเร็ว} \equiv \frac{\text{ระยะทางที่ได้}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

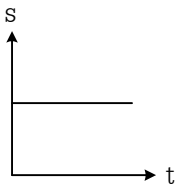
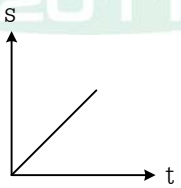
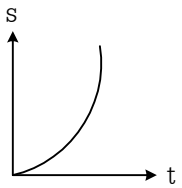
4. ความเร็ว (Velocity) คือ อัตราส่วนระหว่าง**การกระจัดที่ได้**กับ**เวลาที่ใช้** เป็นปริมาณเวกเตอร์

$$\text{ความเร็ว} \equiv \frac{\text{การกระจัดที่ได้}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

5. ความเร่ง (Acceleration) คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปต่อช่วงเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์

$$\text{ความเร่ง} \equiv \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป}}{\text{เวลาที่ใช้}} = \frac{\text{ความเร็วปลาย (v) – ความเร็วต้น (u)}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

6. กราฟการเคลื่อนที่แนวตรง

		
อยู่นิ่ง	เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว	เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว

4. คลองที่ตัดตรงจากเมือง A ไปเมือง B มีความยาว 65 กิโลเมตร ขณะที่ถนนจากเมือง A ไปเมือง B มีระยะทาง 79 กิโลเมตร ถ้าชายคนหนึ่งขนสินค้าจากเมือง A ไปเมือง B โดยรถยนต์ ถามว่าสินค้านั้นมีขนาดการกระจัดเท่าใด

1) 14 km
2) 65 km
3) 72 km
4) 79 km

5. ข้อใดต่อไปนี้เป็นการเคลื่อนที่ที่มีขนาดการกระจัด**น้อยที่สุด**

1) เดินไปทางขวาด้วยอัตราเร็วคงตัว 3 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 4 วินาที
2) เดินไปทางซ้ายด้วยอัตราเร็วคงตัว 4 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 3 วินาที
3) เดินไปทางขวา 10 เมตร แล้วเดินย้อนกลับมาทางซ้าย 2 เมตร
4) ทั้งสามข้อ มีขนาดการกระจัดเท่ากันหมด

6. ชายคนหนึ่งเดินทางไปทางทิศเหนือ 100 เมตร ใช้เวลา 60 วินาที แล้วเดินต่อไปทางตะวันออกอีก 100 เมตร ใช้เวลา 40 วินาที เขาเดินทางด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยเท่าใด

1) 1.0 m/s
2) 1.4 m/s
3) 2.0 m/s
4) 2.8 m/s

7. เด็กคนหนึ่งออกกำลังกายด้วยการวิ่งด้วยอัตราเร็ว 6 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 นาที วิ่งด้วยอัตราเร็ว 5 เมตรต่อวินาทีอีก 1 นาที แล้วเดินด้วยอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาทีอีก 1 นาที จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลา 3 นาทีนี้

1) 3.0 m/s
2) 3.5 m/s
3) 4.0 m/s
4) 4.5 m/s

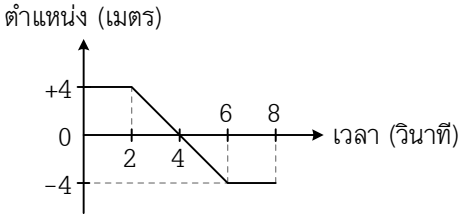
8. ตอนเริ่มต้นวัตถุอยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไปทางขวา 4.0 เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที พบว่าวัตถุอยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไปทางซ้าย 8.0 เมตร จงหาความเร็วเฉลี่ยของวัตถุนี้

1) 0.4 เมตรต่อวินาที
2) 0.4 เมตรต่อวินาที ทางซ้าย
3) 1.2 เมตรต่อวินาที
4) 1.2 เมตรต่อวินาที ทางซ้าย

9. จากรูป แสดงจุดห่างสม่ำเสมอกันบนแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา 50 ครั้งต่อวินาที ข้อความใด**ถูกต้อง**สำหรับการเคลื่อนที่นี้

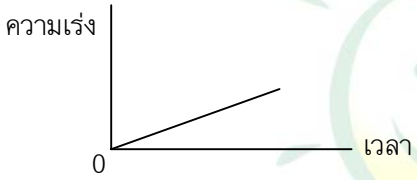
1) ความเร็วเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอ
2) ความเร่งเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอ
3) ความเร่งคงตัวและไม่เป็นศูนย์
4) ระยะทางเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอ

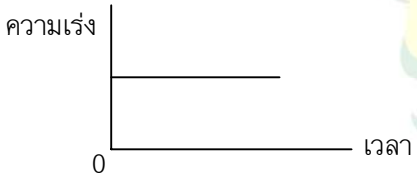
10. วัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง โดยมีตำแหน่งที่เวลาต่างๆ ดังกราฟ ข้อใดคือการกระจัดของวัตถุในช่วงเวลา t = 0 วินาที จนถึง t = 8 วินาที



1) −8 เมตร
2) −4 เมตร
3) 0 เมตร
4) +8 เมตร

11. ในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง กราฟข้อใดแสดงว่าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

1)


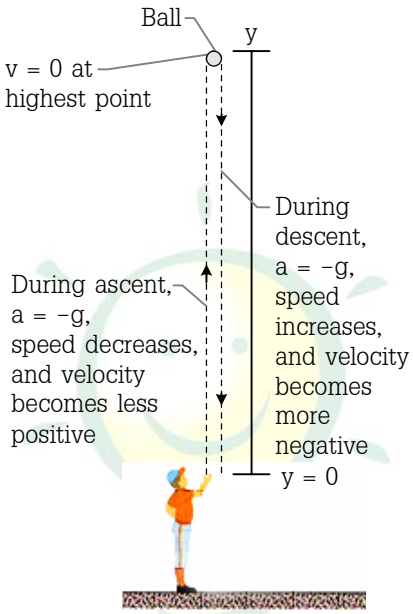
2)


3)

4)

การเคลื่อนที่แบบต่างๆ

การตกอิสระ (Free Fall) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเพียงอย่างเดียวตลอดการเคลื่อนที่ โดยไม่พิจารณาแรงต้านอากาศ ความเร่งในการตกอิสระของวัตถุ มีทิศลงในแนวดิ่งเสมอ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั่วโลกที่ถือว่าเป็นค่ามาตรฐาน คือ $g = 9.8065\ m/s^2$ เพื่อความสะดวกในการคำนวณให้ใช้ $g = 10\ m/s^2$ หรือ $g = 9.8\ m/s^2$ ตามโจทย์กำหนด



ข้อควรรู้

1. ในการตกอิสระอย่างต่อเนื่อง เช่น การปาลูกบอลขึ้นไปบนฟ้าแล้วรอให้ตกกลับลงมาที่ตำแหน่งเดียวกัน (ห่างจากจุดตั้งต้นในแนวดิ่งเท่ากัน) จะมีขนาดของความเร็วเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม

2. ในการตกอิสระอย่างต่อเนื่อง ทั้งตอนขึ้นและตอนลงซึ่งเคลื่อนที่ได้ขนาดกระจัดเท่ากันต้องใช้เวลาเท่ากัน

12. ถ้าปล่อยให้ก้อนหินตกลงจากยอดตึกสู่พื้น การเคลื่อนที่ของก้อนหินก่อนจะกระทบพื้นจะเป็นตามข้อใด ถ้าไม่คิดแรงต้านของอากาศ

1) ความเร็วคงที่
2) ความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ
3) ความเร็วลดลงอย่างสม่ำเสมอ
4) ความเร็วเพิ่มขึ้นแล้วลดลง

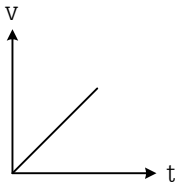
13. ถ้าปล่อยให้วัตถุตกลงในแนวดิ่งอย่างเสรี เริ่มจากหยุดนิ่งหากวัตถุนั้นตกกระทบพื้นดินในเวลา 5 วินาที ถามว่าวัตถุกระทบดินด้วยความเร็วเท่ากับกี่เมตรต่อวินาที

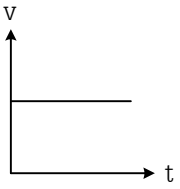
1) 4.9 m/s
2) 9.8 m/s
3) 39 m/s
4) 49 m/s

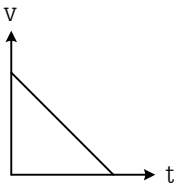
14. โยนลูกบอลขึ้นไปในแนวดิ่งด้วยความเร็วต้น 4.9 เมตรต่อวินาที นานเท่าใดลูกบอลจึงจะเคลื่อนที่ไปถึงจุดสูงสุด

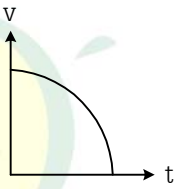
1) 0.5 s
2) 1.0 s
3) 1.5 s
4) 2.0 s

15. กราฟของความเร็ว v กับเวลา t ข้อใดสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ถูกโยนขึ้นไปในแนวดิ่ง

1) 

2) 

3) 

4) 

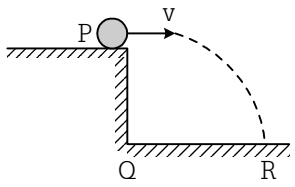
16. วัตถุ A มีมวล 10 กิโลกรัม วางอยู่นิ่งบนพื้น ส่วนวัตถุ B ซึ่งมีมวลเท่ากันกำลังตกลงสู่พื้นโลก ถ้าไม่คิดแรงต้านอากาศ และกำหนดให้ทั้ง A และ B อยู่ในบริเวณที่ขนาดสนามโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.8 นิวตัน/กิโลกรัม ข้อใดต่อไปนี้**ไม่ถูกต้อง**

1) วัตถุทั้งสองมีน้ำหนักเท่ากัน
2) วัตถุทั้งสองมีอัตราเร่งในแนวดิ่งเท่ากัน คือ 9.8 เมตร/วินาที^{2}
3) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ A มีขนาดเท่ากับ 98 นิวตัน
4) แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ B มีขนาดเท่ากับ 98 นิวตัน

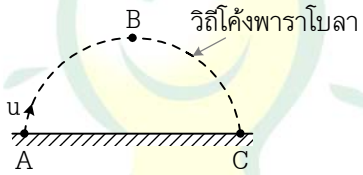
การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile motion)

เกิดจากแรงโน้มถ่วงโลกกระทำต่อวัตถุในแนวดิ่ง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ 2 แนวพร้อมกัน คือ

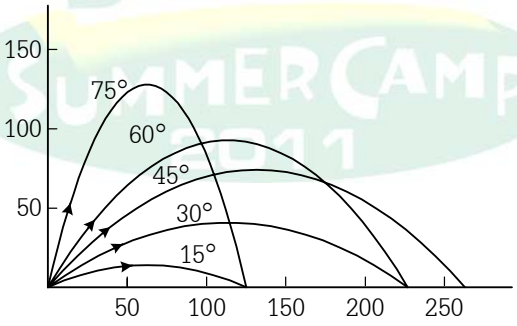
1. แนวระดับ ความเร็วแนวระดับจะคงตัวเสมอ
2. แนวดิ่ง ความเร็วในแนวดิ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา วินาทีละ 9.8 เมตรต่อวินาที



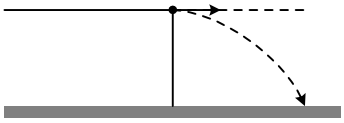
- ❑ บนที่สูงจากพื้นเท่าเดิม ถ้ายิงวัตถุออกไปในแนวราบด้วยความเร็วต้นมากกว่าเดิม ระยะตกไกลสุดในแนวราบจะมากขึ้น
- ❑ บนที่สูงเดียวกันเมื่อยิงวัตถุอันหนึ่งออกไปในแนวราบ ขณะเดียวกันวัตถุอีกก้อนหนึ่งถูกปล่อยให้ตกในแนวดิ่งพร้อมกัน วัตถุทั้งสองก้อนจะตกถึงพื้นพร้อมกัน



- ที่จุด B วัตถุจะมีความเร็วเฉพาะแนวราบเท่านั้น (ความเร็วในแนวดิ่งเป็นศูนย์)
- เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จาก A ไป B จะเท่ากับเวลาที่เคลื่อนที่จาก B ไป C
- จะให้ตกไกลสุดตามแนวราบต้องยิงด้วยมุม 45° และถ้ามุมที่ยิงสองมุมรวมกันได้ 90° วัตถุจะตกที่จุดเดียวกัน



17. ยิงวัตถุจากหน้าผาออกไปในแนวระดับ ปริมาณใดของวัตถุมีค่าคงตัว



1) อัตราเร็ว
2) ความเร็ว
3) ความเร็วในแนวดิ่ง
4) ความเร็วในแนวระดับ

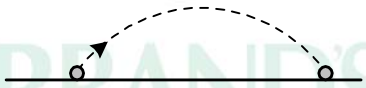
18. วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดสูงสุด ข้อใดต่อไปนี้**ถูกต้อง**

1) ความเร็วของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์
2) ความเร่งของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์
3) ความเร็วของวัตถุในแนวดิ่งมีค่าเป็นศูนย์
4) ความเร็วของวัตถุในแนวราบมีค่าเป็นศูนย์

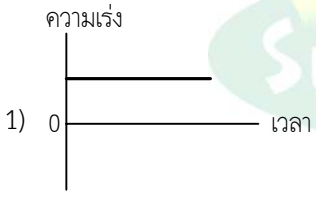
19. ยิงลูกปืนออกไปในแนวระดับ ทำให้ลูกปืนเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ตอนที่ลูกปืนกำลังจะกระทบพื้น ข้อใด**ถูกต้องที่สุด** (ไม่ต้องคิดแรงต้านอากาศ)

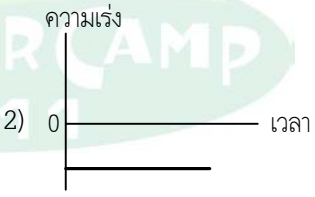
1) ความเร็วในแนวระดับเป็นศูนย์
2) ความเร็วในแนวระดับเท่ากับความเร็วตอนต้นที่ลูกปืนถูกยิงออกมา
3) ความเร็วในแนวระดับมีขนาดมากกว่าตอนที่ถูกยิงออกมา
4) ความเร็วในแนวระดับมีขนาดน้อยกว่าตอนที่ถูกยิงออกมาแต่ไม่เป็นศูนย์

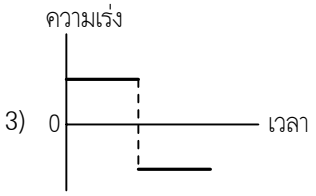
20. เตะลูกบอลออกไป ทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ดังรูป และกำหนดให้ทิศขึ้นเป็นบวก

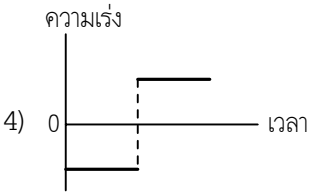


กราฟในข้อใดต่อไปนี้บรรยายความเร่งในแนวดิ่งของลูกบอลได้**ถูกต้อง** ถ้าไม่คิดแรงต้านอากาศ

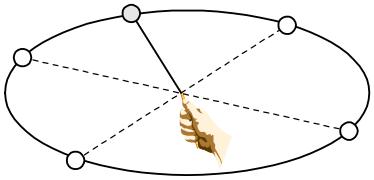
1)


2)


3)


4)


การเคลื่อนที่เป็นวงกลม (Circular motion)



ทิศของความเร็วเปลี่ยนไปตลอดเวลา เชือกจะดึงให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมแรงดึงของเชือกจะมีทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง คือ จะมีแรงกระทำต่อวัตถุในแนวเข้าสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่และเรียกแรงนี้ว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง** (Centripetal Force)

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นวงกลมรัศมี r ด้วยอัตราเร็วคงที่ v เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบรอบ T เรียกว่า **คาบ (period)** และจำนวนรอบที่เคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า **ความถี่ (frequency)**

$$f = \frac{1}{T}$$

21. รถไต่ถังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอและวิ่งครบรอบได้ 5 รอบในเวลา 2 วินาที หากคิดในแง่ความถี่ของการเคลื่อนที่ ความถี่จะเป็นเท่าใด

1) 2.5 Hz
2) 1.5 Hz
3) 0.5 Hz
4) 0.4 Hz

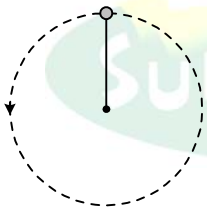
22. เหวี่ยงจุกยางให้เคลื่อนที่เป็นแนววงกลมในระนาบระดับศีรษะ 20 รอบ ใช้เวลา 5 วินาที จุกยางเคลื่อนที่ด้วยความถี่เท่าใด

1) 0.25 รอบ/วินาที
2) 4 รอบ/วินาที
3) 5 รอบ/วินาที
4) 10 รอบ/วินาที

23. การเคลื่อนที่ใดที่แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีทิศตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่ตลอดเวลา

1) การเคลื่อนที่ในแนวตรง
2) การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว
3) การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
4) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

24.



ผูกวัตถุด้วยเชือกแล้วเหวี่ยงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระนาบดิ่ง ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งสูงสุดของวงกลม ดังแสดงในรูป แรงชนิดใดในข้อต่อไปนี้ที่ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

1) แรงดึงเชือก
2) น้ำหนักของวัตถุ
3) แรงดึงเชือกบวกกับน้ำหนักของวัตถุ
4) ที่ตำแหน่งนั้น แรงสู่ศูนย์กลางเป็นศูนย์

25. ผูกเชือกเข้ากับจุกยาง แล้วเหวี่ยงให้จุกยางเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระดับเหนือศีรษะด้วยอัตราเร็วคงตัว ข้อใด**ถูกต้อง**

1) จุกยางมีความเร็วคงตัว
2) จุกยางมีความเร่งเป็นศูนย์
3) แรงที่กระทำต่อจุกยางมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางวงกลม
4) แรงที่กระทำต่อจุกยางมีทิศเดียวกับความเร็วของจุกยาง

การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา (The Simple pendulum motion)

อนุภาคมวล m ผูกปลายเชือกเบายาว L อีกปลายหนึ่งของเชือกผูกกับเพดาน ดังรูป อนุภาคเคลื่อนที่ในระนาบดิ่งด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยเชือกจะเอียงทำมุมเล็กๆ กับแนวดิ่ง (หน่วยเรเดียน)

$$mg \sin\theta = ma$$

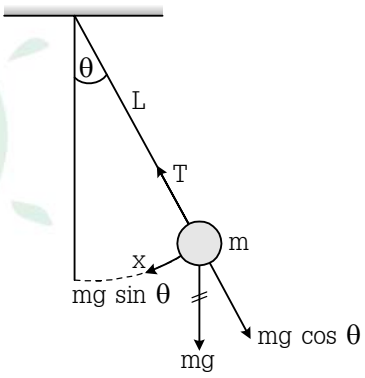
เนื่องจาก θ เป็นมุมเล็กๆ $\sin\theta \approx \theta$

$$g\theta = a$$

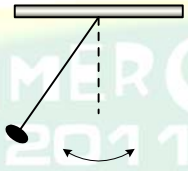
$$a = -g\frac{X}{L}$$

จะได้ $\omega^2 = \frac{g}{L}$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

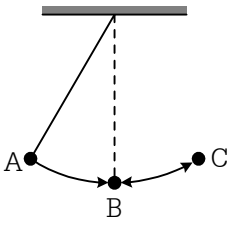


26. นอตขนาดเล็กผูกด้วยสายเอ็นแขวนไว้ให้สายยาว ℓ ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้มีค่าต่างๆ ได้ คาบการแกว่ง T ของนอตจะขึ้นกับความยาว ℓ อย่างไร



1) T^2 เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ ℓ
2) T เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ ℓ
3) T^2 เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ ℓ^2
4) $\sqrt{T}$ เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ ℓ

27.



การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ถ้าให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่จาก A ไป B ไป C แล้วไป B ดังรูป ใช้เวลา 3 วินาที คาบของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด

1) 2 s
2) 3 s
3) 4 s
4) 6 s

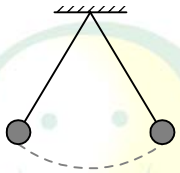
28. ข้อความใด**ถูกต้อง**เกี่ยวกับคาบของลูกตุ้มอย่างง่าย

1) ไม่ขึ้นกับความยาวเชือก
2) ไม่ขึ้นกับมวลของลูกตุ้ม
3) ไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก
4) มีคาบเท่าเดิมถ้าไปแกว่งบนดวงจันทร์

29. ข้อใดต่อไปนี้**ไม่ได้**ทำให้วัตถุมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

1) แขวนลูกตุ้มด้วยเชือกในแนวดิ่ง ผลักลูกตุ้มให้แกว่งเป็นวงกลม โดยเส้นเชือกทำมุมคงตัวกับแนวดิ่ง
2) แขวนลูกตุ้มด้วยเชือกในแนวดิ่ง ดึงลูกตุ้มออกมาจนเชือกทำมุมกับแนวดิ่งเล็กน้อยแล้วปล่อยมือ
3) ผูกวัตถุกับปลายสปริงในแนวระดับ ตรึงอีกด้านของสปริงไว้ ดึงวัตถุให้สปริงยืดออกเล็กน้อย แล้วปล่อยมือ
4) ผูกวัตถุกับปลายสปริงในแนวดิ่ง ตรึงอีกด้านของสปริงไว้ ดึงวัตถุให้สปริงยืดออกเล็กน้อย แล้วปล่อยมือ

30. ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย พบว่าผ่านจุดต่ำสุดทุกๆ 2.1 วินาที ความถี่ของการแกว่งของลูกตุ้มนี้เป็นไปตามข้อใด



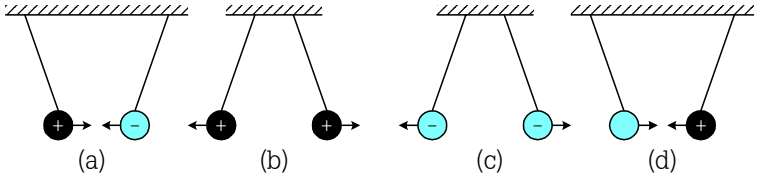
1) 0.24 เฮิรตซ์
2) 0.48 เฮิรตซ์
3) 2.1 เฮิรตซ์
4) 4.2 เฮิรตซ์

31. การเคลื่อนที่ในข้อใดต่อไปนี้ที่ความเร่งของวัตถุเป็นศูนย์

1) การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว
2) การตกลงตรงๆ ในแนวดิ่งโดยไม่มีแรงต้านอากาศ
3) การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว
4) การไถลลงเป็นเส้นตรงบนพื้นเอียงลื่นที่ไม่มีแรงเสียดทาน

ไฟฟ้าสถิต

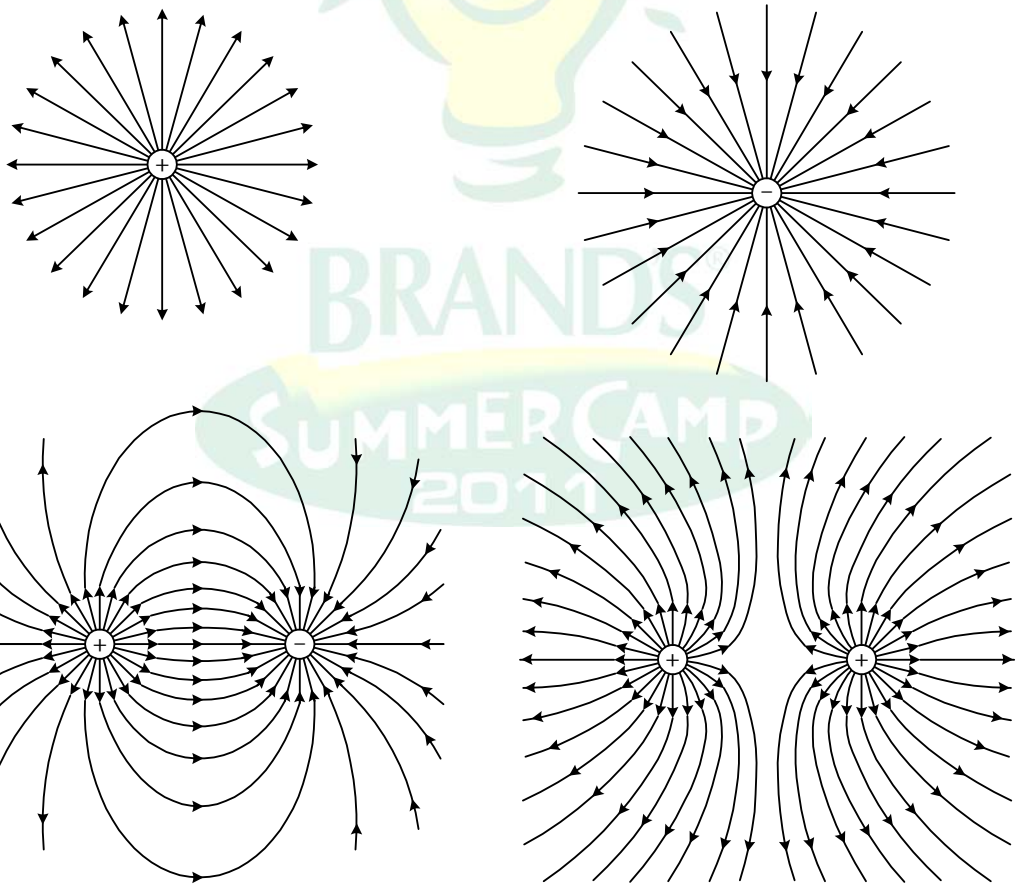
แรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ



- รูป (a) วัตถุมีประจุชนิดตรงข้ามจะเกิดแรงดูดกัน
- รูป (b) และ (c) วัตถุมีประจุชนิดเดียวกันจะเกิดแรงผลักกัน
- รูป (d) วัตถุที่มีประจุไฟฟ้ากับวัตถุที่เป็นกลางจะเกิดแรงดูดกัน

สนามไฟฟ้า (The Electric Field)

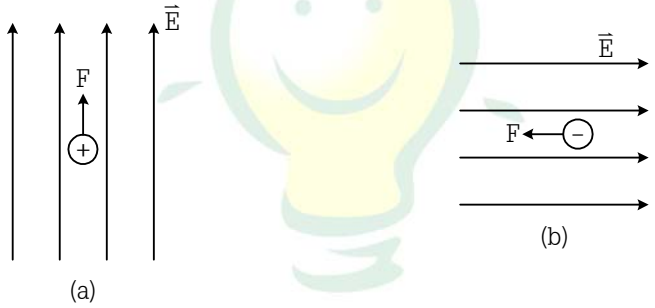
สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ คือ แรงไฟฟ้าต่อประจุบวกทดสอบที่ตำแหน่งนั้น โดยทิศของสนามไฟฟ้ามีทิศตามทิศของแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุบวกทดสอบ



สมบัติของเส้นแรงไฟฟ้า

1. เส้นแรงจะมีทิศพุ่งออกจากประจุบวก และมีทิศพุ่งเข้าหาประจุลบเสมอ
2. เส้นแรงไฟฟ้าจะมีระเบียบจะไม่ตัดกัน นั่นแสดงว่า จุดๆ หนึ่งจะมีเส้นแรงผ่านได้เพียงเส้นเดียว
3. เส้นแรงไฟฟ้าจะตั้งฉากกับผิวของวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเสมอ
4. เส้นแรงไฟฟ้าจะสิ้นสุดที่ผิวตัวนำเท่านั้น แสดงว่า ภายในตัวนำจะไม่มีเส้นแรงไฟฟ้า นั่นคือ **ภายในตัวนำสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์**
5. สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ จะมีทิศอยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นแรง ณ ตำแหน่งนั้น
6. ความหนาแน่นของเส้นแรงในบริเวณต่างๆ จะบอกให้ทราบถึงความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นๆ นั่นคือ
   บริเวณใดที่มีเส้นแรงไฟฟ้าหนาแน่นมาก แสดงว่าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่ามาก
   บริเวณใดที่มีเส้นแรงไฟฟ้าหนาแน่นน้อย แสดงว่าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าน้อย
   บริเวณใดที่มีเส้นแรงไฟฟ้าหนาแน่นสม่ำเสมอ (เส้นแรงไฟฟ้าขนานกัน) แสดงว่า ความเข้มสนามไฟฟ้าก็จะมีค่าสม่ำเสมอ

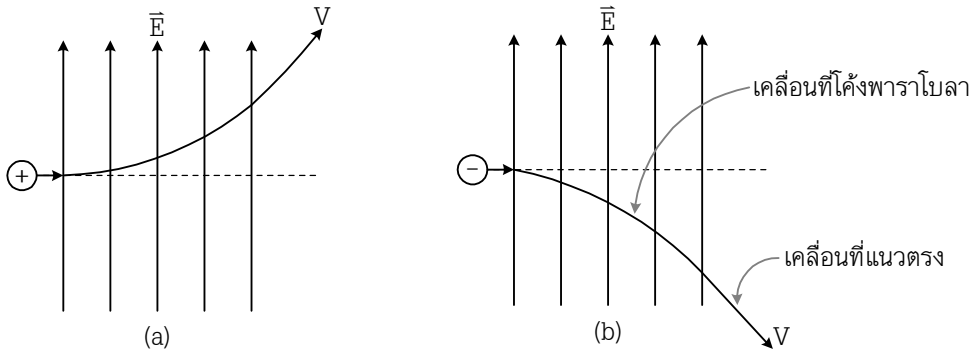
แรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า



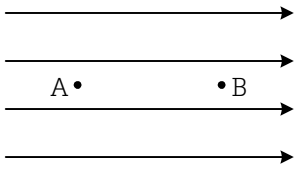
- แรงที่กระทำต่อประจุบวกจะมีทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า
- แรงที่กระทำต่อประจุลบจะมีทิศตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า
- แรงจะมีทิศขนานกับสนามไฟฟ้าเสมอ ไม่ว่าประจุจะเคลื่อนที่อย่างไรในสนามไฟฟ้า

ความเร็วต้นของจุดประจุทำมุมกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ทำมุมใดๆ กับสนามไฟฟ้า (ไม่ขนานกับสนามไฟฟ้า) จะเกิดความเร่งในมิติเดียวกับสนามไฟฟ้า แต่มีความเร็วในมิติขนานกับสนามไฟฟ้าและมิติตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้ คือ **โพรเจกไทล์**



32. จุด A และ B อยู่ภายในเส้นสนามไฟฟ้าที่มีทิศตามลูกศร ดังรูป ข้อใดต่อไปนี้**ถูกต้อง**

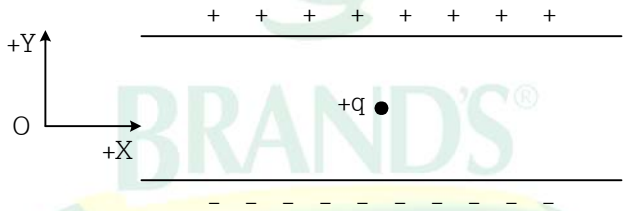


1) วางประจุลบลงที่ A ประจุลบจะเคลื่อนไปที่ B
2) วางประจุบวกลงที่ B ประจุบวกจะเคลื่อนไปที่ A
3) สนามไฟฟ้าที่ A สูงกว่าสนามไฟฟ้าที่ B
4) สนามไฟฟ้าที่ A มีค่าเท่ากับสนามไฟฟ้าที่ B

33. A, B และ C เป็นแผ่นวัตถุ 3 ชนิดที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการถู ซึ่งได้ผลดังนี้ A และ B ผลักกัน ส่วน A และ C ดูดกัน ข้อใดต่อไปนี้**ถูกต้อง**

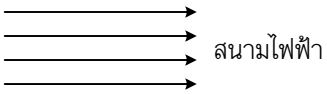
1) A และ C มีประจุบวก แต่ B มีประจุลบ
2) B และ C มีประจุลบ แต่ A มีประจุบวก
3) A และ B มีประจุบวก แต่ C มีประจุลบ
4) A และ C มีประจุลบ แต่ B มีประจุบวก

34. ถ้ามีอนุภาคมีประจุไฟฟ้า +q อยู่ในสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนาน ดังรูป ถ้าเดิมอนุภาคอยู่นิ่ง ต่อมาอนุภาคจะเคลื่อนที่อย่างไร



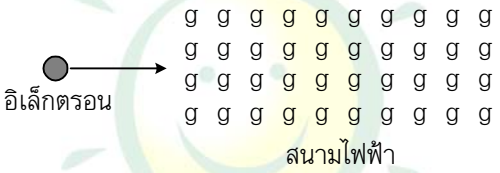
1) ทิศ +X ด้วยความเร่ง
2) ทิศ –X ด้วยความเร่ง
3) ทิศ +Y ด้วยความเร่ง
4) ทิศ –Y ด้วยความเร่ง

35. วางอนุภาคอิเล็กตรอนลงในบริเวณซึ่งมีเฉพาะสนามไฟฟ้าที่มีทิศไปทางขวา ดังรูป อนุภาคอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่เป็นไปตามข้อใด



1) เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เบนขึ้นข้างบน
2) เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เบนลงข้างล่าง
3) เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกับสนามไฟฟ้า ไปทางขวา
4) เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกับสนามไฟฟ้า ไปทางซ้าย

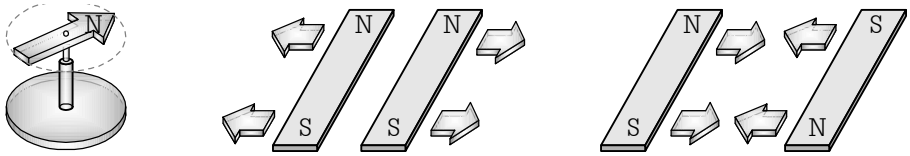
36. ยิงอนุภาคอิเล็กตรอนเข้าไปในแนวตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่มีทิศพุ่งออกจากกระดาษ เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเป็นอย่างไร (g แทนทิศสนามไฟฟ้าพุ่งออกและตั้งฉากกับกระดาษ)



1) เบนขึ้น
2) เบนลง
3) เบนพุ่งออกจากกระดาษ
4) เบนพุ่งเข้าหากระดาษ

แม่เหล็กไฟฟ้า

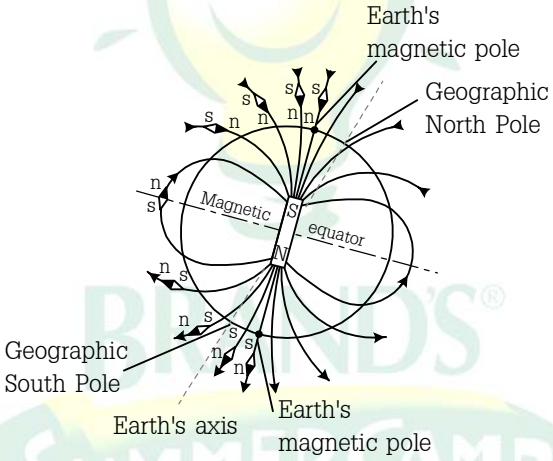
แม่เหล็ก นำแท่งแม่เหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังรูป ปลายของแท่งแม่เหล็กที่ชี้ไปประมาณทิศเหนือ เรียกปลายของแม่เหล็กว่าเป็น **ขั้วเหนือแม่เหล็ก (N)** และปลายตรงข้ามเรียกว่า **ขั้วใต้แม่เหล็ก (S)**



- ขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันจะเกิดแรงผลักกัน
- ขั้วแม่เหล็กชนิดตรงข้ามจะเกิดแรงดูดกัน

สนามแม่เหล็กโลก

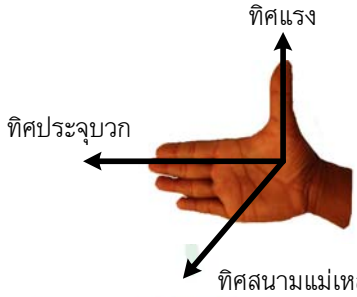
ขั้วโลกเหนือจะเป็นขั้วใต้สนามแม่เหล็กและที่ขั้วโลกใต้จะเป็นขั้วเหนือสนามแม่เหล็กโลก ดังรูป



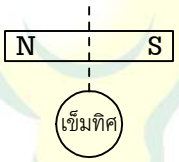
- ❑ เส้นแรงแม่เหล็ก หมายถึง เส้นที่แสดงทิศของแรงลัพธ์ที่แท่งแม่เหล็กกระทำต่อ**เข็มทิศ**
- ❑ เส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็กจะมีลักษณะโค้ง 3 มิติและพุ่งจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ของแม่เหล็ก
- ❑ เส้นแรงแม่เหล็กโลกบนพื้นที่เล็กๆ จะมีลักษณะเป็นเส้นขนาน ทิศพุ่งไปทางทิศเหนือภูมิศาสตร์
- ❑ เส้นแรงแม่เหล็กไม่ตัดกัน
- ❑ บริเวณที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านบริเวณนั้นจะไม่มีสนามแม่เหล็กและเรียกจุดนั้นว่า **จุดสะเทิน** (Neutral Point)

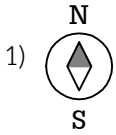
แรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ ซึ่งเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

ประจุไฟฟ้า**เคลื่อนที่**ในสนามแม่เหล็ก อนุภาคที่มีประจุจะถูกแรงแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคก็ต่อเมื่ออนุภาคนั้น**ต้องเคลื่อนที่โดยไม่ขนานกับทิศสนามแม่เหล็ก** ถ้าเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศสนามแม่เหล็กจะถูกแรงกระทำให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม ***ทิศทาง***ของแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ ใช้ **"Right hand rule"** หลักมือขวา

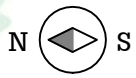


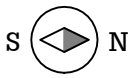
37. โดยปกติเข็มทิศจะวางตัวตามแนวทิศเหนือ–ใต้ เมื่อนำเข็มทิศมาวางใกล้ๆ กับกึ่งกลางแท่งแม่เหล็กที่ตำแหน่งดังรูป เข็มทิศจะชี้ในลักษณะใด



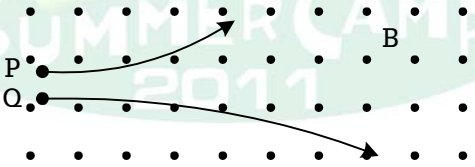
1) 

2)

3) 

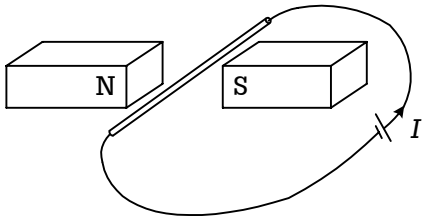
4) 

38. ลำดับอนุภาค P และ Q เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก B ที่มีทิศพุ่งออกตั้งฉากกับกระดาษมีการเบี่ยงเบนดังรูป ถ้านำอนุภาคทั้งสองไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แนวการเคลื่อนที่จะเป็นอย่างไร



1) เคลื่อนที่ไปทางเดียวกันในทิศทางตามเส้นสนามไฟฟ้า
2) เคลื่อนที่ไปทางเดียวกันในทิศทางตรงข้ามกับเส้นสนามไฟฟ้า
3) เคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกันโดยอนุภาค P ไปทางเดียวกับสนามไฟฟ้า
4) เคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกันโดยอนุภาค Q ไปทางเดียวกับสนามไฟฟ้า

39. วางลวดไว้ในสนามแม่เหล็ก ดังรูป เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในเส้นลวดตัวนำจะเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่อลวดนี้ในทิศทางใด

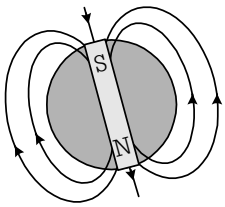


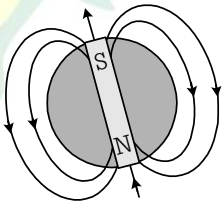
1) ไปทางซ้าย (เข้าหา N)
2) ไปทางขวา (เข้าหา S)
3) ลงข้างล่าง
4) ขึ้นด้านบน

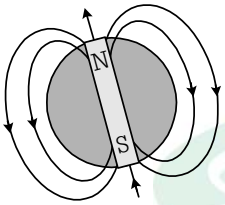
40. อนุภาคโปรตอนเคลื่อนที่เข้าไปในทิศขนานกับสนามแม่เหล็กซึ่งมีทิศพุ่งเข้ากระดาษแนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคโปรตอนจะเป็นอย่างไร

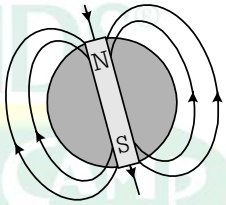
1) วิ่งต่อไปเป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงตัว
2) เบนไปทางขวา
3) เบนไปทางซ้าย
4) วิ่งต่อไปเป็นเส้นตรงและถอยหลังกลับในที่สุด

41. สนามแม่เหล็กโลกมีลักษณะตามข้อใด (ข้างบนเป็นขั้วเหนือภูมิศาสตร์)

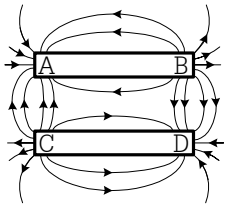
1) 

2) 

3) 

4) 

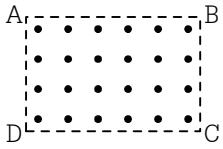
42. จากแผนภาพแสดงลักษณะของเส้นสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กสองแท่ง



ข้อใดบอกถึงขั้วแม่เหล็กที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ได้**ถูกต้อง**

1) A และ C เป็นขั้วเหนือ B และ D เป็นขั้วใต้
2) A และ D เป็นขั้วเหนือ B และ C เป็นขั้วใต้
3) B และ C เป็นขั้วเหนือ A และ D เป็นขั้วใต้
4) B และ D เป็นขั้วเหนือ A และ C เป็นขั้วใต้

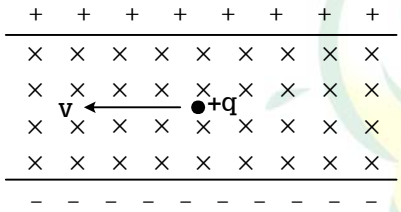
43. บริเวณพื้นที่สี่เหลี่ยม ABCD เป็นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอซึ่งมีทิศพุ่งออกตั้งฉากกับกระดาษ ดังรูป



ข้อใดต่อไปนี้ที่จะทำให้อนุภาคโปรตอนเคลื่อนที่เบนเข้าหาด้าน AB ได้

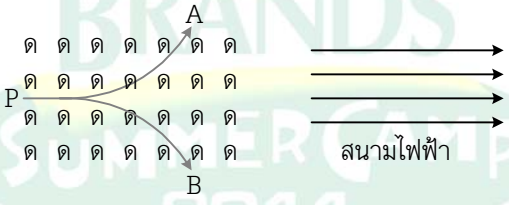
1) ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน AD ในทิศตั้งฉากกับเส้น AD
2) ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน BC ในทิศตั้งฉากกับเส้น BC
3) ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน AD ในแนวขนานกับเส้น AC
4) ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน DC ในแนวขนานกับเส้น DB

44. ขณะที่อนุภาคมีประจุไฟฟ้า +q มวล m เคลื่อนที่ในแนวระดับในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังรูป อนุภาคจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร



1) โค้งขึ้น
2) โค้งลง
3) โค้งออกมาจากกระดาษ
4) โค้งเข้าไปในกระดาษ

45. ในรูปซ้าย A และ B คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค 2 อนุภาคที่ถูกยิงมาจากจุด P ไปทางขวาเข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (ดูรูปซ้าย) ถ้านำอนุภาคทั้งสองไปวางลงในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าดังรูปขวา จะเกิดอะไรขึ้น (ด แทนสนามแม่เหล็กที่มีทิศพุ่งเข้าและตั้งฉากกับกระดาษ)



1) A เคลื่อนที่ไปทางขวา ส่วน B เคลื่อนที่ไปทางซ้าย
2) A เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ส่วน B เคลื่อนที่ไปทางขวา
3) ทั้ง A และ B ต่างก็เคลื่อนที่ไปทางขวา
4) ทั้ง A และ B ต่างก็อยู่นิ่งกับที่

46. อนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอน และนิวตรอน อนุภาคในข้อใดที่เมื่อนำไปวางในสนามไฟฟ้าแล้วจะมีแรงไฟฟ้ากระทำ

1) นิวตรอน
2) โปรตอนและนิวตรอน
3) โปรตอนและอิเล็กตรอน
4) โปรตอน อิเล็กตรอน และนิวตรอน

47. อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา รังสีแกมมา เมื่อเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ข้อใด**ไม่เกิด**การเบน

1) อนุภาคแอลฟา
2) อนุภาคบีตา
3) รังสีแกมมา
4) อนุภาคแอลฟาและบีตา

48. ถ้ารังสีแกมมาพุ่งเข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของรังสีภายในสนามแม่เหล็กดังกล่าว รังสีแกมมามีแนวทางการเคลื่อนที่เป็นไปตามข้อใด

1) เบนไปด้านข้าง
2) เคลื่อนที่เป็นวงกลม
3) เคลื่อนที่ในแนวทางเดิม
4) ย้อนกลับทางเดิม

49. แรงในข้อใดต่อไปนี้เป็นแรงประเภทเดียวกันกับแรงที่ทำให้ลูกแอปเปิลตกลงสู่พื้นโลก

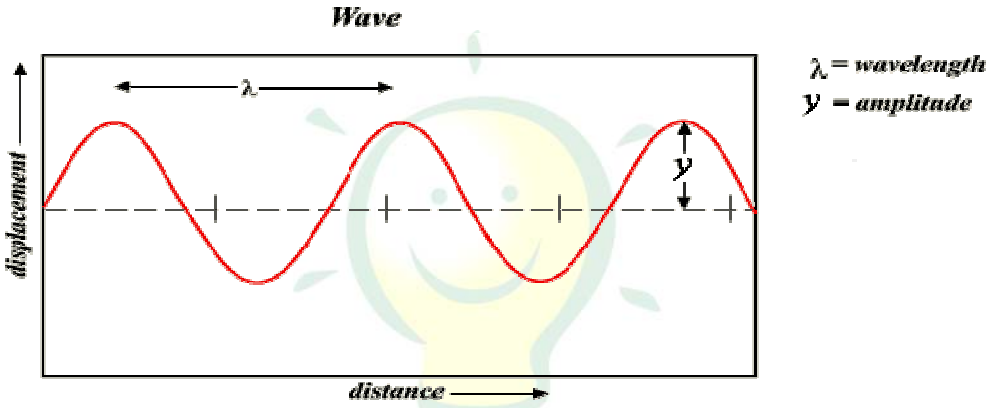
1) แรงที่ทำให้ดวงจันทร์อยู่ในวงโคจรรอบโลก
2) แรงที่ทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในอะตอมได้
3) แรงที่ทำให้โปรตอนหลายอนุภาคอยู่รวมกันในนิวเคลียสได้
4) แรงที่ทำให้ป้ายแม่เหล็กติดอยู่บนฝาตู้เย็น

คลื่น

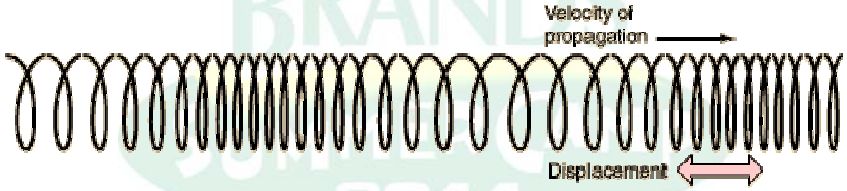
คลื่นเป็นปรากฏการณ์การแผ่กระจายพลังงานและโมเมนตัมออกจากแหล่งกำเนิด โดยอาศัยตัวกลางหรือไม่อาศัยตัวกลางก็ได้ ซึ่งเราสามารถแบ่งคลื่นได้ คือ

จำแนกคลื่นตามลักษณะการเคลื่อนที่

คลื่นตามขวาง (Transverse wave) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางอนุภาคของตัวกลางจะมีการสั่นกลับไปมาในแนวตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นที่ผิวน้ำ เป็นต้น



คลื่นตามยาว (Longitudinal wave) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางอนุภาคของตัวกลางจะมีการสั่นกลับไปกลับมาในแนวขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นในสปริง คลื่นเสียง เป็นต้น



จำแนกคลื่นตามลักษณะการอาศัยตัวกลาง

คลื่นกล (Mechanical wave) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยอาศัยตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สก็ได้ ตัวอย่างของคลื่น ได้แก่ คลื่นเสียง คลื่นผิวน้ำ คลื่นในเส้นเชือก เป็นต้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) เป็นคลื่นที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกันในการเคลื่อนที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำกันไปจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง (มีตัวกลางก็เคลื่อนที่ได้) และจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในสุญญากาศ และจะช้าลงเมื่อเคลื่อนที่ในตัวกลาง เมื่อจัดลำดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากความถี่ค่าน้อยไปยังค่ามากจะได้ดังนี้ กระแสสลับ คลื่นวิทยุ (เอเอ็ม เอฟเอ็ม) ไมโครเวฟ (เรดาร์) รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา

จำแนกคลื่นตามลักษณะการเกิดคลื่น

คลื่นดล (Pulse wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดถูกรบกวนเพียงช่วงสั้นๆ เช่น สะบัดเชือกครั้งเดียว โยนก้อนหินตกน้ำ

คลื่นต่อเนื่อง (Continuous wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดถูกรบกวนเป็นจังหวะต่อเนื่อง เช่น เคาะผิวน้ำเป็นเวลานานๆ

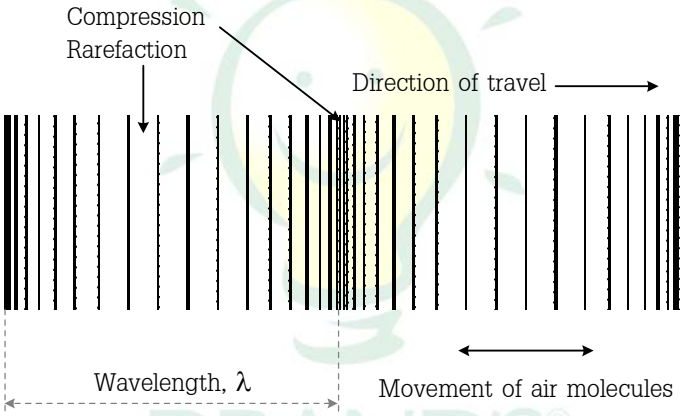
ส่วนประกอบของคลื่น

สันคลื่น (Crest) เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่นหรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางบวก

ท้องคลื่น (Trough) เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่นหรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดมากสุดในทางลบ

แอมพลิจูด (Amplitude) เป็นระยะจากแนวปกติไปยังสันคลื่นหรือท้องคลื่นก็ได้

ความยาวคลื่น (Wavelength) เป็นความยาวของคลื่นหนึ่งลูกมีค่าเท่ากับระยะระหว่างสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ถัดกัน หรือถ้าเป็นคลื่นตามยาวจะเป็นระยะระหว่างช่วงอัดถึงช่วงอัดถัดกันหรือขยายถึงขยายก็ได้



ความยาวคลื่นแทนด้วยสัญลักษณ์ λ มีหน่วยเช่นเดียวกับหน่วยของระยะทาง

ความถี่ (Frequency) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านตำแหน่งใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา แทนด้วยสัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็น $\frac{1}{\text{วินาที}}$ หรือเฮิรตซ์ (Hz)

คาบ (Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดๆ ครบหนึ่งลูกคลื่น แทนด้วยสัญลักษณ์ T มีหน่วยเป็นวินาที

อัตราเร็วของคลื่น (Wave Speed) คือ อัตราส่วนของระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ในเวลาเดียวกัน

$$\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$$

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$\boxed{v = f\lambda}$$

สมบัติของคลื่น

คลื่นจะต้องมีสมบัติ 4 ประการ ดังต่อไปนี้

- **การสะท้อน** เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ตกกระทบผิวสะท้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นจะเกิดการสะท้อน
- **การหักเห** เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เปลี่ยนตัวกลางแล้วอัตราเร็วของคลื่นเปลี่ยนแปลง ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนทิศทาง
- **การเลี้ยวเบน** เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นสามารถเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวางได้
- **การแทรกสอด** เมื่อคลื่นตั้งแต่สองขบวนเคลื่อนที่มาพบกันจะเกิดการรวมกันของคลื่นเกิดคลื่นลัพธ์

อัตราเร็วของคลื่นน้ำ

ความยาวคลื่นในบริเวณน้ำตื้นสั้นกว่าบริเวณน้ำลึก เนื่องจากความถี่ที่บริเวณทั้งสองเท่ากัน เพราะเกิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน จะได้

$$\lambda_{ลึก} > \lambda_{ตื้น}$$
$$f\lambda_{ลึก} > f\lambda_{ตื้น}$$
$$v_{ลึก} > v_{ตื้น}$$

อัตราเร็วคลื่นในน้ำลึกจะมากกว่าอัตราเร็วคลื่นในน้ำตื้น **ยกเว้น**บริเวณน้ำลึกมากๆ อัตราเร็วคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความลึก

50. เมื่อคลื่นเดินทางจากน้ำลึกสู่น้ำตื้น ข้อใดต่อไปนี้**ถูก**

1) อัตราเร็วคลื่นในน้ำลึกน้อยกว่าอัตราเร็วคลื่นในน้ำตื้น
2) ความยาวคลื่นในน้ำลึกมากกว่าความยาวคลื่นในน้ำตื้น
3) ความถี่คลื่นในน้ำลึกมากกว่าความถี่คลื่นในน้ำตื้น
4) ความถี่คลื่นในน้ำลึกน้อยกว่าความถี่คลื่นในน้ำตื้น

51. คลื่นใดต่อไปนี้เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

ก. คลื่นแสง
ข. คลื่นเสียง
ค. คลื่นผิวน้ำ

ข้อใด**ถูกต้อง**

1) ทั้ง ก., ข. และ ค. 2) ข. และ ค. 3) ก. เท่านั้น 4) ผิดทุกข้อ

52. เมื่อคลื่นเคลื่อนจากตัวกลางที่หนึ่งไปตัวกลางที่สองโดยอัตราเร็วของคลื่นลดลง ถามว่าสำหรับคลื่นในตัวกลางที่สองข้อความใด**ถูกต้อง**

1) ความถี่เพิ่มขึ้น 2) ความถี่ลดลง
3) ความยาวคลื่นมากขึ้น 4) ความยาวคลื่นน้อยลง

53. ถ้ากระทุ่มน้ำเป็นจังหวะสม่ำเสมอ ลูกปิงปองที่ลอยอยู่ห่างออกไปจะเคลื่อนที่อย่างไร

1) ลูกปิงปองเคลื่อนที่ออกห่างไปมากขึ้น 2) ลูกปิงปองเคลื่อนที่เข้ามาหา
3) ลูกปิงปองเคลื่อนที่ขึ้น-ลงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม 4) ลูกปิงปองเคลื่อนที่ไปด้านข้าง

54. คลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ปริมาณใดต่อไปนี้**ไม่**เปลี่ยนแปลง

1) ความถี่ 2) ความยาวคลื่น

3) อัตราเร็ว 4) ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

55. เมื่อให้แสงสีแดงผ่านเข้าไปในปริซึม แสงสีแดงในปริซึมจะมีความเร็วและความยาวคลื่นอย่างไรเมื่อเทียบกับแสงนั้นในอากาศ

1) ความเร็วลดลง ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น 2) ความเร็วลดลง ความยาวคลื่นลดลง

3) ความเร็วเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น 4) ความเร็วเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นลดลง

56. ข้อใดต่อไปนี้**ถูกต้อง**เกี่ยวกับคลื่นตามยาว

1) เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น

2) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของตัวกลาง

3) เป็นคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

4) เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นได้หลายแนว

57. ทำให้เกิดคลื่นบนเส้นเชือกที่ปลายทั้งสองด้านถูกขึงตึง พบว่ามีความถี่และความยาว คลื่นค่าหนึ่ง ถ้าทำให้ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความถี่เดิม ข้อใด**ถูกต้อง**

1) ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกลดลงเหลือครึ่งหนึ่งเนื่องจากคลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางเดิม

2) ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เนื่องจากปริมาณทั้งสองแปรผันตามกัน

3) ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกเท่าเดิมเนื่องจากคลื่นเกิดบนตัวกลางเดิม

4) ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกเท่าเดิม แต่อัตราเร็วของคลื่นเพิ่มเป็นสองเท่าตามสมการ $v = f\ell$

58. ในการทดลองเพื่อสังเกตผลของสิ่งกีดขวางเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเป็นการศึกษาสมบัติตามข้อใดของคลื่น

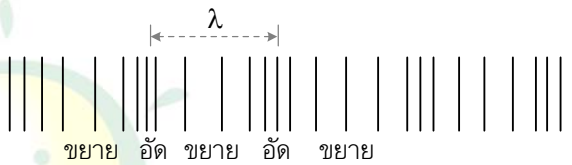
1) การหักเห 2) การเลี้ยวเบน 3) การสะท้อน 4) การแทรกสอด

คลื่นเสียง

คลื่นเสียง (Sound waves)

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ พลังงานที่ทำให้วัตถุสั่นจะทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบวัตถุสั่นตาม ซึ่งจะถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดไป ส่งผลให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงมายังหูเรา การได้ยินเสียงเป็นการทำงานของระบบประสาท ทำให้รับรู้และแยกแยะวิเคราะห์เป็นเรื่องราวต่างๆ ได้ หลังจากถ่ายโอนพลังงานไปแล้ว โมเลกุลของอากาศจะสั่นกลับสู่ตำแหน่งเดิมในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง (เสียงเป็นคลื่นตามยาว)

ความดันอากาศในบริเวณที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านเรียกว่า ความดันเสียง ณ เวลาหนึ่งโมเลกุลของอากาศในบางบริเวณจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก ทำให้มีความหนาแน่นและความดันสูงกว่าปกติ บริเวณนี้เรียกว่า **ส่วนอัด** แต่ในบางบริเวณโมเลกุลของอากาศอยู่ห่างกันมากจึงมีความหนาแน่นและความดันต่ำกว่าปกติ บริเวณนี้เรียกว่า **ส่วนขยาย**



อัตราเร็วเสียง

ในการเคลื่อนที่ของเสียงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง ถ้าไม่มีตัวกลางเสียงจะเคลื่อนที่ไม่ได้ การหาอัตราเร็วของเสียงก็หาเช่นเดียวกับคลื่นโดยทั่วไป กล่าวคือ อัตราเร็วเสียงเท่ากับระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่ได้ต่อช่วงเวลานั้น

$$\text{อัตราเร็วเสียง} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$$

$$v = f\lambda$$

อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางจะไม่ขึ้นกับความถี่และความยาวคลื่น หมายความว่า ความถี่ของเสียงจะเพิ่มหรือลดอัตราเร็วเสียงยังมีค่าคงเดิม แต่ก็ยังมีองค์ประกอบที่ทำให้อัตราเร็วเสียงเปลี่ยนได้นั่นคือ

ชนิดของตัวกลาง ในตัวกลางที่ต่างกันอัตราเร็วของเสียงจะต่างกัน โดยส่วนใหญ่แล้วเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางมีความหนาแน่นมากจะมีอัตราเร็วมากกว่าเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย แต่ก็ไม่จริงเสมอไป เช่น เสียงเคลื่อนที่ในปรอทจะมีอัตราเร็วน้อยกว่าอัตราเร็วเสียงในน้ำ เป็นต้น

อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราเร็วของเสียงในอากาศ กล่าวคือ อัตราเร็วเสียงในอากาศแปรผันตรงกับรากที่สองของอุณหภูมิสัมบูรณ์ $v \propto \sqrt{T}$ โดย T เป็นอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

จะได้ $$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

และได้ $\boxed{v = 331 + 0.6\,t}$ เมื่อ t เป็นอุณหภูมิหน่วยเซลเซียส

ระดับเสียง หรือระดับความสูงต่ำของเสียง ซึ่งจะขึ้นกับความถี่ของเสียง โดยช่วงความถี่เสียงที่มนุษย์ได้ยินอยู่ระหว่าง 20–20000 เฮิรตซ์ โดยเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่า **อินฟราโซนิก (Infrasonic)** และเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20000 เฮิรตซ์ เรียกว่า **อุลตราโซนิก (Ultrasonic)**

- ❑ เสียงแหลม คือ เสียงที่มีระดับเสียงสูงหรือเสียงที่มีความถี่มาก
- ❑ เสียงทุ้ม คือ เสียงที่มีระดับเสียงต่ำหรือเสียงที่มีความถี่น้อย

ความเข้มของเสียง คือ อัตราพลังงานเสียงที่ตกลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

- ❑ ความเข้มของเสียงน้อยที่สุดที่พอจะได้ยินได้ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร
- ❑ ความเข้มของเสียงมากที่สุดที่ทนฟังได้ 1 วัตต์ต่อตารางเมตร

ระดับความเข้มเสียง เป็นค่าที่บอกความดังของเสียง ซึ่งจะขึ้นกับแอมพลิจูดของคลื่น ถ้าค่าแอมพลิจูดมากเสียงจะดัง ช่วงระดับความเข้มเสียงที่มนุษย์จะได้ยินจะอยู่ในช่วง 0–120 dB (เดซิเบล)

สมบัติของคลื่นเสียง

เสียงเป็นคลื่นจึงมีคุณสมบัติเหมือนคลื่นทั่วไป คือ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด

การสะท้อนของเสียง

เมื่อเสียงตกกระทบผิวสะท้อนที่ขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นจะเกิดการสะท้อน และเป็นไปตามกฎการสะท้อน* เสียงจะสะท้อนได้ดีกับวัตถุผิวมัน ดังนั้นเพื่อป้องกันการสะท้อนเสียงภายในห้องจึงต้องให้ผนังผิวขรุขระ เช่น ติดกรอบรูป ตกแต่งด้วยต้นไม้หรือติดม่าน เป็นต้น

- ❑ เสียงก้อง (Echo) คือ เสียงสะท้อนที่ได้ยินเป็นครั้งที่สองหลังจากได้ยินเสียงครั้งแรกไปแล้ว ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องใช้เวลาห่างกันไม่น้อยกว่า 0.1 วินาที เพราะถ้าเกิดห่างกันไม่ถึง 0.1 วินาที หูคนเราจะได้ยินเป็นเสียงเดียว

การหักเหของคลื่นเสียง

เกิดจากการที่เสียงเปลี่ยนตัวกลางในการเคลื่อนที่แล้วทำให้อัตราเร็วและความยาวคลื่นเสียงเปลี่ยนไปแต่ความถี่คงเดิม *ปรากฏการณ์ที่เกิดในชีวิตประจำวันเนื่องจากการหักเหของเสียง เช่น การเห็นฟ้าแลบแล้วไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง* เพราะเสียงหักเหกลับขึ้นไปในอากาศ

การแทรกสอดของเสียง

เกิดจากการที่คลื่นเสียงอย่างน้อย 2 ขบวนเคลื่อนที่มาพบกันแล้วเกิดการเสริมหรือหักล้างกัน เช่น *ในเครื่องบินการป้องกันเสียงในเครื่องบิน ทำโดยการผลิตเสียงที่มีความถี่เท่ากับเสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์ไอพ่น แต่มีลักษณะตรงข้ามกันทำให้เสียงเกิดการหักล้าง เสียงในห้องโดยสารจึงเงียบสนิท*

บีตส์ (Beats)

ปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นเสียงสองชุด ที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย (Slightly) เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน (Same direction) ผลจากหลักการรวมกันได้ของคลื่นสองขบวนเป็นคลื่นลัพธ์ที่มีแอมพลิจูดไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จุดที่คลื่นทั้งสองรวมกันแบบเสริม (Constructive) จะมีแอมพลิจูดมากเสียงที่ได้ยินจะดัง จุดที่คลื่นทั้งสองรวมกันแบบหักล้าง (Destructive) จะมีแอมพลิจูดน้อย เสียงที่ได้ยินจะค่อย

เมื่อคลื่นเกิดการรวมกันแล้วจะทำให้**เกิดเสียงดังและค่อยสลับกันเป็นจังหวะคงที่** เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **การเกิดบีตส์ของเสียง (Beats of sound)**

ความถี่บีตส์ (Beat frequency) คือ จำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงดังในหนึ่งวินาที (จำนวนครั้งที่เกิดเสียงค่อยในหนึ่งวินาที) ซึ่งความถี่บีตส์จะหาได้จากผลต่างระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดทั้งสอง

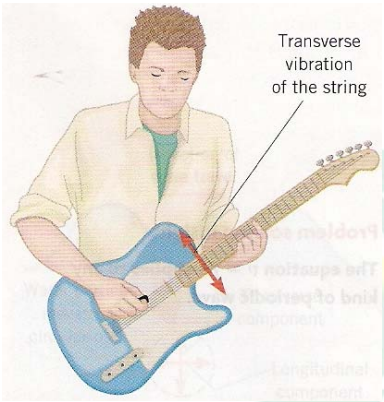
$$\text{ความถี่บีตส์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงดัง}}{\text{เวลา}} \qquad f_b = |f_2 - f_1|$$

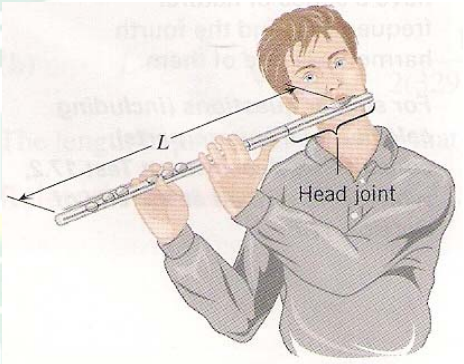
ถ้าความถี่เสียงทั้งสองต่างกันเล็กน้อย เสียงบีตส์ที่ได้ยินจะเป็นจังหวะช้าๆ ถ้าความถี่เสียงทั้งสองต่างกันมาก เสียงบีตส์ที่ได้ยินจะเป็นจังหวะเร็วขึ้น โดยปกติมนุษย์จะสามารถจำแนกเสียงบีตส์ที่ได้ยินเป็นจังหวะ เมื่อความถี่บีตส์ไม่เกิน 7 เฮิรตซ์

การเลี้ยวเบนของเสียง

เกิดจากการที่คลื่นเสียงสามารถอ้อมเลี้ยวผ่านสิ่งกีดขวางได้ เสียงที่มีความยาวคลื่นยาวจะเลี้ยวเบนผ่านขอบของสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเสียงที่ความยาวคลื่นสั้น เช่น รถวิ่งไปด้านหน้าตึกเปิดแตรขึ้น คนที่อยู่ด้านข้างของตึกจะได้ยินเสียงได้ เพราะเสียงเลี้ยวเบนผ่านขอบของตึกไปได้

คุณภาพเสียง แหล่งกำเนิดเสียงต่างกัน อาจให้เสียงที่มีระดับเสียงเดียวกัน เช่น ไวโอลิน และขลุ่ยถ้าเล่นโน้ตเดียวกันจะให้เสียงที่มีความถี่เดียวกัน แต่เราสามารถแยกออกได้ว่าเสียงใดเป็นเสียงไวโอลินและเสียงใดเป็นเสียงขลุ่ย แสดงว่านอกจากระดับเสียงแล้วจะต้องมีปัจจัยอื่นอีกที่ทำให้เสียงที่ได้ยินแตกต่างกันจนเราสามารถแยกประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นได้ นั่นคือ คุณภาพเสียง





แหล่งกำเนิดเสียงต่างชนิดกัน ขณะสั่นจะให้เสียงซึ่งมีความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกต่างๆ ออกมาพร้อมกันเสมอ แต่จำนวนฮาร์โมนิกและความเข้มเสียงแต่ละฮาร์โมนิกจะแตกต่างกัน จึงทำให้ลักษณะคลื่นเสียงที่ออกมาแตกต่างกัน สำหรับแหล่งกำเนิดที่ต่างกันจะให้เสียงที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่เราเรียกว่า คุณภาพเสียงต่างกันนั้นเอง

59. ถ้าดีดกีตาร์แล้วพบว่าเสียงที่ได้ยินต่ำกว่าปกติ จะมีวิธีปรับแก้ให้เสียงสูงขึ้นได้อย่างไร

1) เปลี่ยนใช้สายเส้นใหญ่ขึ้น
2) ปรับสายให้หย่อนลง
3) ปรับตำแหน่งสายให้ยาวขึ้น
4) ปรับสายให้ตึงขึ้น

60. เสียงผ่านหน้าต่างในแนวตั้งฉาก มีค่าความเข้มเสียงที่ผ่านหน้าต่างเฉลี่ย 1.0×10^{-4} วัตต์ต่อตารางเมตร หน้าต่างกว้าง 80 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร กำลังเสียงที่ผ่านหน้าต่างมีค่าเท่าใด

1) 0.8×10^{-4} W
2) 1.2×10^{-4} W
3) 1.5×10^{-4} W
4) 8.0×10^{-4} W

61. ชาวประมงส่งคลื่นโซนาร์ไปยังฝูงปลา พบว่าช่วงเวลาที่คลื่นออกไปจากเครื่องส่งจนกลับมาถึงเครื่องเป็น 1.0 วินาทีพอดี จงหาว่าปลาอยู่ห่างจากเรือเท่าใด (กำหนดให้ความเร็วของคลื่นในน้ำเป็น 1540 เมตรต่อวินาที)

1) 260 m
2) 520 m
3) 770 m
4) 1540 m

62. ระดับเสียงและคุณภาพเสียงขึ้นอยู่กับสมบัติใด ตามลำดับ

1) ความถี่ รูปร่างคลื่น
2) รูปร่างคลื่น ความถี่
3) แอมพลิจูด ความถี่
4) ความถี่ แอมพลิจูด

63. ข้อใดต่อไปนี้เป็นวัตถุประสงค์ของการบุผนังของโรงภาพยนตร์ด้วยวัสดุกลืนเสียง

1) ลดความถี่ของเสียง
2) ลดความดังของเสียง
3) ลดการสะท้อนของเสียง
4) ลดการหักเหของเสียง

64. ในการเทียบเสียงกีตาร์กับหลอดเทียบเสียงมาตรฐาน เมื่อดีดสายกีตาร์พร้อมกับหลอดเทียบเสียงเกิดบีตส์ขึ้นที่ความถี่หนึ่ง แต่เมื่อขันให้สายตึงขึ้นเล็กน้อยความถี่ของบีตส์สูงขึ้น ความถี่ของเสียงกีตาร์เดิมเป็นอย่างไร

1) สูงกว่าเสียงมาตรฐาน
2) ต่ำกว่าเสียงมาตรฐาน
3) เท่ากับเสียงมาตรฐาน
4) อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่า

65. ข้อใดต่อไปนี้ที่มีผลทำให้อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศเปลี่ยนแปลงได้

1) ลดความถี่
2) เพิ่มความยาวคลื่น
3) เพิ่มแอมพลิจูด
4) ลดอุณหภูมิ

66. สมบัติตามข้อใดของคลื่นเสียงที่เกี่ยวข้องกับการเกิดบีตส์

1) การสะท้อน
2) การหักเห
3) การเลี้ยวเบน
4) การแทรกสอด

67. ข้อใด**ไม่ถูกต้อง**

1) ค้างคาวอาศัยคลื่นเสียงในย่านอินฟราโซนิกในการบอกทิศทางและจับเหยื่อ
2) สุนัขสามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ในย่านอัลตราโซนิกได้
3) เสียงที่มีความถี่ในย่านอินฟราโซนิกจะมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน
4) คลื่นเสียงในย่านอัลตราโซนิกสามารถใช้ทำความสะอาดเครื่องมือแพทย์

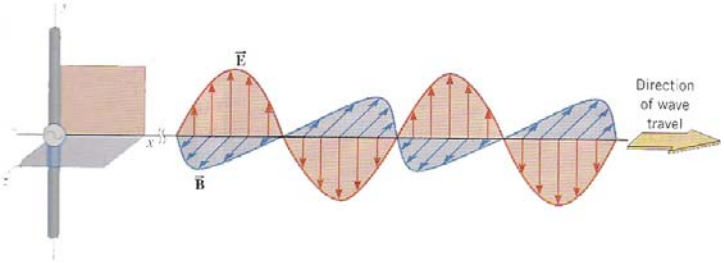
68. เครื่องโซนาร์ในเรือประมงได้รับสัญญาณสะท้อนจากท้องทะเล หลังจากส่งสัญญาณลงไปเป็นเวลา 0.4 วินาที ถ้าอัตราเร็วเสียงในน้ำเป็น 1500 เมตรต่อวินาที ทะเลมีความลึกเท่ากับข้อใด

1) 150 เมตร
2) 300 เมตร
3) 600 เมตร
4) 900 เมตร

69. วัสดุที่ใช้ในการบุผนังโรงภาพยนตร์มีผลในการลดปรากฏการณ์ใดของเสียง

1) การหักเห
2) การสะท้อน
3) การสั่นพ้อง
4) ดอพเพลอร์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



สรุปสมบัติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดังนี้

1. สนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ มีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกันและตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเสมอ ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง

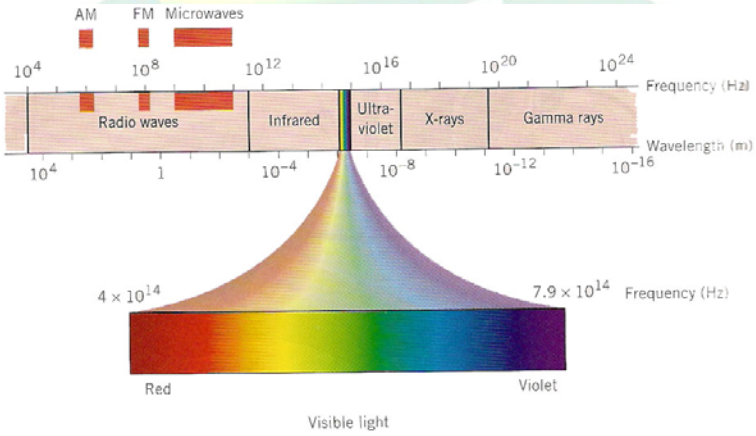
2. สนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ เป็นฟังก์ชันรูปไซน์ และสนามทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยความถี่เดียวกันและเฟสตรงกันถ้าสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ สนามแม่เหล็กก็เป็นศูนย์ด้วยมีค่าสูงสุด และต่ำสุดพร้อมกัน

3. ประจุไฟฟ้าเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมารอบการเคลื่อนที่ของประจุนั้น

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

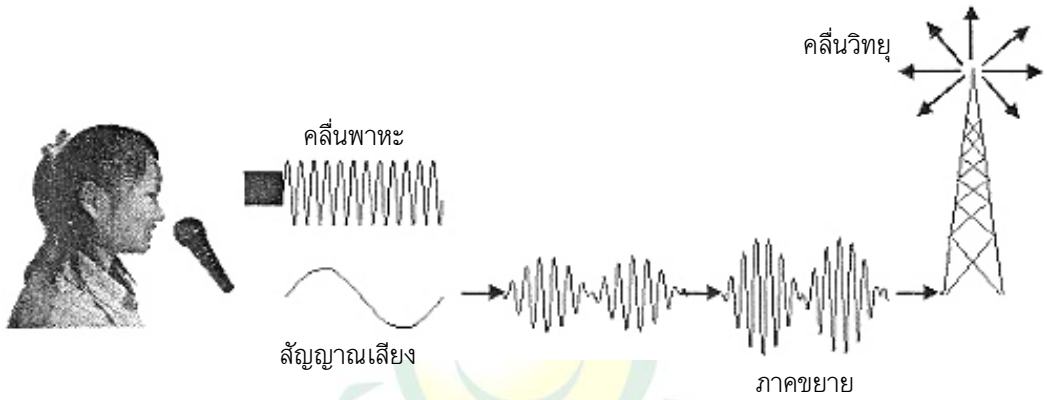
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้แม้มีแหล่งกำเนิด และวิธีการตรวจวัดที่ไม่เหมือนกัน แต่คลื่นเหล่านี้จะมีสมบัติร่วมกัน คือ **จะเคลื่อนที่ไปได้ด้วยความเร็วในสุญญากาศที่เท่ากันหมด และเท่ากับความเร็วแสง พร้อมๆ กับมีการส่งพลังงานไปพร้อมกับคลื่น**

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



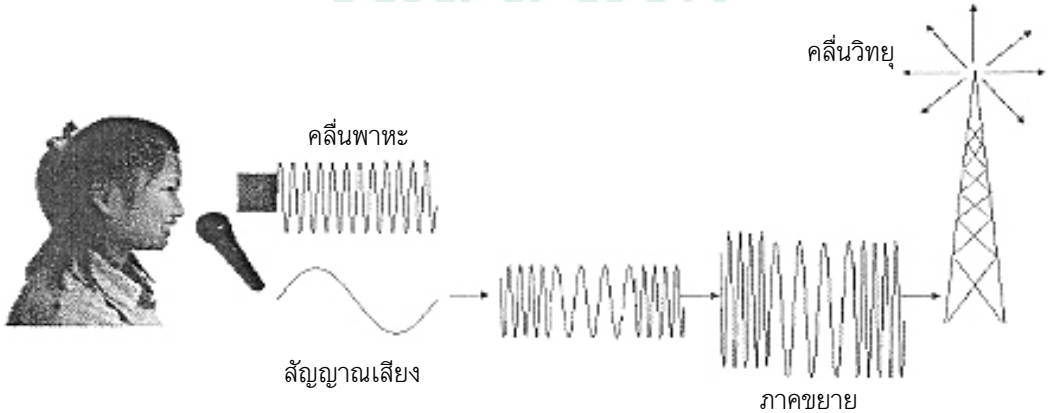
1. **คลื่นวิทยุ** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 10^6–10^9 เฮิรตซ์

ระบบเอเอ็ม (Amplitude Modulation : A.M.) ความถี่อยู่ในช่วง 530–1600 กิโลเฮิรตซ์ จะเป็นการผสม (Modulate) สัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นวิทยุ (คลื่นพาหะ) **โดยสัญญาณเสียงจะบังคับให้คลื่นพาหะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียง** คลื่นวิทยุในช่วงความถี่นี้จะสามารถ**สะท้อนได้ดีที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์** **ข้อดี** คือ ทำให้สามารถสื่อสารได้ไกลเป็นพันๆ กิโลเมตร (คลื่นฟ้า) **ข้อเสีย** คือ จะถูกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งอื่นๆ แทรกเข้ามารบกวนได้ง่าย



การส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็ม

ระบบเอฟเอ็ม (Frequency Modulation : F.M.) ความถี่อยู่ในช่วง 80–108 เมกะเฮิรตซ์ เป็นการผสม (Modulate) สัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นวิทยุ (คลื่นพาหะ) โดยสัญญาณเสียงจะบังคับให้คลื่นพาหะมีความถี่เปลี่ยนไปตามสัญญาณเสียง **ข้อดี** คือ ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งอื่นรบกวนได้ยาก **ข้อเสีย** คือ สะท้อนบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้น้อยมาก ทำให้การส่งกระจายเสียงได้ระยะทางไม่ไกลต้องใช้สถานีถ่ายทอดเป็นระยะๆ (คลื่นดิน)



การส่งคลื่นวิทยุระบบเอฟเอ็ม

2. คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ มีความถี่ในช่วง 10^8–10^{11} เฮิรตซ์ เป็น**คลื่นที่ไม่สะท้อนในชั้นไอโอโนสเฟียร์** แต่จะทะลุชั้นบรรยากาศออกไปนอกโลกเลย การส่งสัญญาณต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะๆ หรือใช้ดาวเทียมในการถ่ายทอด ส่วนคลื่นไมโครเวฟจะใช้ในอุปกรณ์สำหรับหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง ตรวจจับอัตราเร็วของรถยนต์และอากาศยานในท้องฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างขึ้นเพื่อใช้ตรวจหาที่เรียกว่า **เรดาร์** (Radiation Detection And Ranging : RADAR) เพราะ**คลื่นไมโครเวฟสามารถสะท้อนผิวโลหะได้ดี**

ทำให้อาหารสุกได้ โดยโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในอาหารสั่นสะเทือนประมาณ 2450 ล้านครั้งต่อวินาที การสั่นนี้ทำให้อาหารดูดพลังงานและเกิดความร้อนในอาหาร โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานในการทำให้เตาหรืออากาศในเตาร้อนขึ้น อาหารจึงร้อนและสุกอย่างรวดเร็ว ภาชนะที่ทำด้วยโลหะและไม้ไม่ควรใช้ เพราะโลหะสะท้อนไมโครเวฟออกไป ส่วนเนื้อไม้มีความชื้น เมื่อร้อนจะทำให้ไม้แตกควรใช้ภาชนะประเภทกระเบื้อง และแก้ว เพราะจะไม่ดูดความร้อนจากสนามแม่เหล็ก

3. รังสีอินฟราเรด มีความถี่ในช่วง 10^{11}–10^{14} เฮิรตซ์ เกิดจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงโดยมนุษย์สามารถรับรังสีนี้ได้โดยประสาทสัมผัสทางผิวหนัง **รังสีอินฟราเรดมีความสามารถทะลุผ่านเมฆหมอกที่หนาได้มากกว่าแสงธรรมดา** จึงทำให้รังสีอินฟาเรดมาใช้ในการศึกษาสภาพแวดล้อมและลักษณะพื้นผิวโลก โดยการถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียม ส่วนนักธรณีวิทยาก็อาศัยการถ่ายภาพจากดาวเทียมด้วยรังสีอินฟาเรดในการสำรวจหาแหล่งน้ำมัน แร่ธาตุ และชนิดต่างๆ ของหินได้

นอกจากนี้**รังสีอินฟราเรดยังใช้ในรีโมทคอนโทรล (Remote control)** ซึ่งเป็น**อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล** ในกรณีนี้รังสีอินฟราเรดจะเป็นตัวนำคำสั่งจากอุปกรณ์ควบคุมไปยังเครื่องรับ และใช้**รังสีอินฟราเรดเป็นพาหะนำสัญญาณในเส้นใยนำแสง (Optical fiber)** ปัจจุบันทางการทหารได้นำรังสีอินฟราเรดนี้มา**ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอาวุธนำวิถีให้เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ**

4. แสง มีความถี่ประมาณ 10^{14} เฮิรตซ์ มีความยาวคลื่น 400nm–700nm มนุษย์สามารถรับรู้แสงได้ด้วยประสาทสัมผัสทางตา โดยจะเห็นเป็นสีต่างๆ เรียงจากความถี่มากไปน้อย คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง ส่วนใหญ่แสงจะเกิดจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ ซึ่งจะส่งออกมาพร้อมๆ กันหลายความถี่ เมื่อ**มีอุณหภูมิยิ่งสูงความถี่แสงที่เปล่งออกมาก็ยิ่งมาก** นักวิทยาศาสตร์จึงใช้สีแสงของดาวฤกษ์ในการบอกว่าดาวฤกษ์ดวงใดมีอุณหภูมิสูงกว่ากัน เช่น ดาวฤกษ์สีน้ำเงินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์สีเหลือง, เปลวไฟจากเตาแก๊สซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะเกิดสีน้ำเงินหรือสีม่วง แต่ไฟจากแสงเทียนซึ่งมีอุณภูมิต่ำกว่าจะเกิดแสงสีแดงหรือสีแสด เป็นต้น

5. รังสีอัลตราไวโอเลต มีความถี่ในช่วง 10^{15}–10^{18} เฮิรตซ์ ในธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากดวงอาทิตย์ รังสีนี้เป็นตัวการทำให้บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์แตกตัวเป็นไอออนได้ดี (เพราะรังสีอัลตราไวโอเลตมีพลังงานสูงพอที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลอากาศ พบว่าในไอโอโนสเฟียร์มีโมเลกุลหลายชนิด เช่น โอโซนซึ่งสามารถกั้นรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี)

ประโยชน์ของรังสีอัลตราไวโอเลต คือ **ใช้ตรวจสอบลายมือชื่อ, ใช้รักษาโรคผิวหนัง, ใช้ฆ่าเชื้อโรคบางชนิดได้, ใช้ในสัญญาณกันขโมย** แต่รังสีอัลตราไวโอเลตถ้าได้รับในปริมาณที่สูงอาจทำให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ผิวหนังเป็นมะเร็งผิวหนัง และเป็นอันตรายต่อนัยน์ตาของมนุษย์ได้

6. รังสีเอกซ์ มีความถี่ในช่วง 10^{17} – 10^{21} เฮิรตซ์ มี 2 แบบ

รังสีเอกซ์มีสมบัติในการทะลุสิ่งกีดขวางหนาๆ และตรวจรับได้ด้วยฟิล์ม จึง**ใช้ประโยชน์ในการหารอยร้าวภายในชิ้นโลหะขนาดใหญ่ ใช้ในการตรวจสอบสัมภาระของผู้โดยสาร ตรวจหาอาวุธปืนหรือวัตถุระเบิด และในทางการแพทย์ใช้รังสีเอกซ์ฉายผ่านร่างกายมนุษย์ไปตกบนฟิล์ม ในการตรวจหาความผิดปกติของอวัยวะภายใน และกระดูกของมนุษย์**

7. รังสีแกมมา ใช้เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากกว่ารังสีเอกซ์ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี หรือเป็นรังสีพลังงานสูงจากนอกโลก เช่น รังสีคอสมิกและบางชนิดมาจากการแผ่รังสีของประจุไฟฟ้าที่ถูกเร่งในเครื่องเร่งอนุภาค (Cyclotron) **มีอันตรายต่อมนุษย์มากที่สุด เพราะสามารถทำลายเซลล์สิ่งมีชีวิตได้ แต่สามารถใช้ประโยชน์ในการรักษาโรคมะเร็งได้**

70. สนามแม่เหล็กที่เป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแสงนั้นมีทิศทางตามข้อใด
1) ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง
2) ขนานกับสนามไฟฟ้าแต่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของแสง
3) ตั้งฉากกับทั้งสนามไฟฟ้าและทิศการเคลื่อนที่ของแสง
4) ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าแต่ขนานกับทิศของการเคลื่อนที่ของแสง

71. คลื่นวิทยุที่ส่งออกจากสถานีวิทยุสองแห่ง มีความถี่ 90 เมกะเฮิรตซ์ และ 100 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุทั้งสองนี้**ต่างกัน**เท่าใด
1) 3.33 m
2) 3.00 m
3) 0.33 m
4) 0.16 m

72. ข้อใดเป็นการเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากความยาวคลื่น**น้อย**ไป**มากที่ถูกต้อง**
1) รังสีเอกซ์ อินฟราเรด ไมโครเวฟ
2) อินฟราเรด ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์
3) รังสีเอกซ์ ไมโครเวฟ อินฟราเรด
4) ไมโครเวฟ อินฟราเรด รังสีเอกซ์

73. การฝากสัญญาณเสียงไปกับคลื่นในระบบวิทยุแบบ เอ เอ็ม คลื่นวิทยุที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร
1) คลื่นวิทยุจะเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดตามแอมพลิจูดของคลื่นเสียง
2) คลื่นวิทยุจะเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดตามความถี่ของคลื่นเสียง
3) คลื่นวิทยุจะเปลี่ยนแปลงความถี่ตามแอมพลิจูดของคลื่นเสียง
4) คลื่นวิทยุจะเปลี่ยนแปลงความถี่ตามความถี่ของคลื่นเสียง

74. มนุษย์อวกาศสองคนปฏิบัติภารกิจบนพื้นผิวดวงจันทร์สื่อสารกันด้วยวิธีใด**สะดวกที่สุด**
1) คลื่นเสียงธรรมดา
2) คลื่นเสียงอัลตราซาวด์
3) คลื่นวิทยุ
4) คลื่นโซนาร์

75. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นิยมใช้ในรีโมทควบคุมการทำงานของเครื่องโทรทัศน์คือข้อใด
1) อินฟราเรด
2) ไมโครเวฟ
3) คลื่นวิทยุ
4) อัลตราไวโอเลต

76. คลื่นวิทยุ FM ความถี่ 88 เมกะเฮิรตซ์ มีความยาวคลื่นเท่าใด กำหนดให้ความเร็วของคลื่นวิทยุเท่ากับ 3.0×10^8 เมตร/วินาที

1) 3.0 m
2) 3.4 m
3) 6.0 m
4) 6.8 m

77. คลื่นใดในข้อต่อไปนี้ที่มีความยาวคลื่น**สั้นที่สุด**

1) คลื่นวิทยุ
2) คลื่นอินฟราเรด
3) คลื่นไมโครเวฟ
4) คลื่นแสงที่ตามองเห็น

78. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดต่อไปนี้ที่มีความยาวคลื่น**สั้นที่สุด**

1) อินฟราเรด
2) ไมโครเวฟ
3) คลื่นวิทยุ
4) อัลตราไวโอเลต

79. ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติในข้อใดที่**ไม่มี**ผลต่อการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุ

1) การเปลี่ยนขนาดของจุดดับบนดวงอาทิตย์
2) การเกิดแสงเหนือแสงใต้
3) การเกิดน้ำขึ้นน้ำลง
4) การเกิดกลางวัน กลางคืน

80. ข้อใด**ไม่ถูกต้อง**เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีอัตราเร็วในสุญญากาศเท่ากัน
2) มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางชนิดต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทาง
3) เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางในตัวกลางที่เปลี่ยนไป อัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไป
4) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่มีทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

BRAND'S® SUMMER CAMP 2011

พลังงานนิวเคลียร์ กัมมันตภาพรังสี

นักฟิสิกส์เรียกปรากฏการณ์ที่ธาตุสามารถแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่องนี้ว่า **กัมมันตภาพรังสี** และเรียกธาตุที่มีสมบัติสามารถแผ่รังสีออกมาได้เองนี้ว่าธาตุกัมมันตรังสี

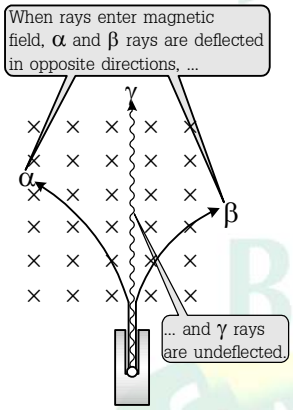
1. กัมมันตภาพรังสี

รังสีแอลฟา (Alpha, สัญลักษณ์ $^{4}_{2}He$ ตัวย่อ α) เป็นนิวเคลียสของอะตอมของธาตุฮีเลียม มีมวล 4U (1U = 1.66×10^{-27} kg) ประจุ +2e พลังงานประกอบด้วย 4–10 MeV เสียพลังงานง่าย อำนาจทะลุทะลวงต่ำ ผ่านอากาศได้ 3–5 เซนติเมตร ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารที่รังสีผ่านได้ดีที่สุด

รังสีเบตา (Beta, สัญลักษณ์ $^{0}_{-1}e$ ตัวย่อ β^{-}) มีประจุ -1e มวล 9.1×10^{-31} กิโลกรัม มีพลังงานในช่วง 0.025–3.5 MeV ผ่านอากาศได้ 1–3 เมตร อำนาจทะลุทะลวงสูงกว่าแอลฟา แต่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารที่เคลื่อนที่ผ่านได้ดีน้อยกว่าแอลฟา

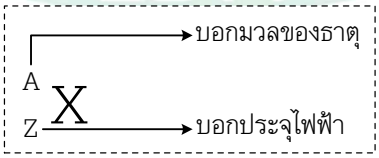
รังสีแกมมา (Gamma, สัญลักษณ์และตัวย่อ γ) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งพลังงานในรูปของโฟตอน $E = hf$ มีพลังงานประมาณ 0.04–3.2 MeV อำนาจทะลุทะลวงสูงสุด ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออนได้น้อยสุด

2. การวิเคราะห์ชนิดของประจุของสารกัมมันตรังสีโดยใช้สนามแม่เหล็ก



ทิศการเบี่ยงเบนของอนุภาคแอลฟา และอนุภาคเบตาเป็นไปตามทิศทางแรงจากสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุซึ่งเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

สัญลักษณ์นิวเคลียสของธาตุ



เลขมวล (Mass number, A) คือ ผลรวมของจำนวนโปรตอนและนิวตรอนที่อยู่ภายในนิวเคลียส

เลขอะตอม (Atomic number, Z) คือ จำนวนโปรตอนภายในนิวเคลียส

จำนวน Neutron ภายในนิวเคลียส = A–Z ตัว

เลขมวลในทางฟิสิกส์ คือ เลขจำนวนเต็มที่มีค่าใกล้เคียงกับมวลอะตอมของธาตุนั้นในหน่วย U เช่น $^{4}_{2}He$ มวล 1 อะตอมมีค่าประมาณ 4U (มวลจริง 4.002603 U)

การแตกตัวให้รังสีชนิดต่างๆ

1. การแตกตัวให้แอลฟา (Alpha decay, α decay) เกิดจากการที่นิวเคลียสเดิมสลายตัวให้นิวเคลียสใหม่ที่มีเลขอะตอมลดลง 2 เลขมวลลดลง 4 พร้อมปลดปล่อยแอลฟาออกมาตามสมการ

$$^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}D + {}^{4}_{2}He$$

2. การแตกตัวให้เบตาลบ (Beta decay, β^- decay) เกิดจากการที่นิวตรอน 1 ตัวภายในนิวเคลียสเดิมเปลี่ยนสภาพกลายไปเป็นโปรตอน 1 ตัวในนิวเคลียสใหม่ ทำให้นิวเคลียสใหม่มีเลขมวลเท่าเดิมแต่เลขอะตอมเพิ่มขึ้นหนึ่ง พร้อมปลดปล่อยเบตาลบ ตามสมการ

$$^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{4}_{Z+1}D + {}^{0}_{-1}e$$

$$^{13}_{6}C \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$

3. อนุภาคเบตาบวก (Positron สัญลักษณ์ ${}^{0}_{+1}e$ ตัวย่อ β^+) เป็นอนุภาคที่มีประจุ +e และมีมวล 9.1×10^{-31} กิโลกรัม เป็นอนุภาคที่เกิดยาก โดย ${}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{+1}e \rightarrow 2\gamma$

4. การแตกตัวให้เบตาบวก เกิดจากการที่โปรตอน 1 ตัวในนิวเคลียสเดิมเปลี่ยนสภาพไปเป็นนิวตรอน 1 ตัวในนิวเคลียสใหม่ ทำให้นิวเคลียสใหม่มีเลขอะตอมลดลง 1 แต่เลขมวลคงเดิม พร้อมปลดปล่อยเบตาบวกออกมา ตามสมการ

$$^{A}_{Z}P \rightarrow {}^{4}_{Z-1}D + {}^{0}_{+1}e$$

5. การแตกตัวให้แกมมา เป็นผลพลอยได้จากการแตกตัวให้แอลฟาและเบตา คือ นิวเคลียสที่ได้จากการแตกตัวใหม่ๆ ยังอยู่ในภาวะที่ถูกกระตุ้น เมื่อนิวเคลียสเหล่านี้กลับสู่ภาวะพื้นฐานจะคายพลังงานออกในรูปของรังสีแกมมา เช่น

$$^{212}_{83}Bi \rightarrow {}^{208}_{81}Tl \text{ (excited nucleus)} + {}^{4}_{2}He$$

$$^{208}_{81}Tl \text{ (excited nucleus)} \rightarrow {}^{208}_{81}Tl \text{ (ground state nucleus)} + \gamma$$

3. เวลาครึ่งชีวิต (Half life, T or $T\frac{1}{2}$)

เวลาครึ่งชีวิต คือ เวลาที่สารสลายตัวไปเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณสารเดิม เป็นค่าคงที่สำหรับสารชนิดหนึ่ง

ความสัมพันธ์ระหว่าง N_t, N_0, t และ T

สมมติที่เวลาเริ่มต้นมีสารอยู่ = N_0 เมื่อเวลาผ่านไป จะเหลือปริมาณสารอยู่ N_t ถ้า n = จำนวนครั้งที่สลายตัว จะได้ว่า

สลายตัวครั้งที่ 1, n = 1 , t_1 = 1T จะเหลือจำนวนนิวเคลียส = $\frac{N_0}{2}$

สลายตัวครั้งที่ 2, n = 2 , t_2 = 2T จะเหลือจำนวนนิวเคลียส = $\frac{N_0}{4}$

สลายตัวครั้งที่ 3, n = 3 , t_3 = 3T จะเหลือจำนวนนิวเคลียส = $\frac{N_0}{8}$

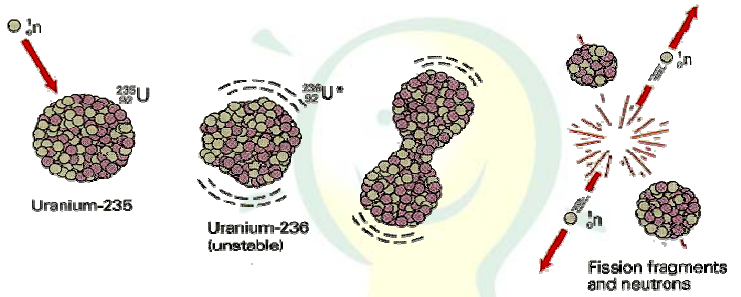
สลายตัวครั้งที่ n, n = n , t_n = nT จะเหลือจำนวนนิวเคลียส = $\frac{N_0}{2^n}$

$t = n_t$, $N_t = \frac{N_0}{2^n}$ จะได้ว่า $\frac{N_t}{N_0} = \left[\frac{1}{2}\right]^{t/T}$

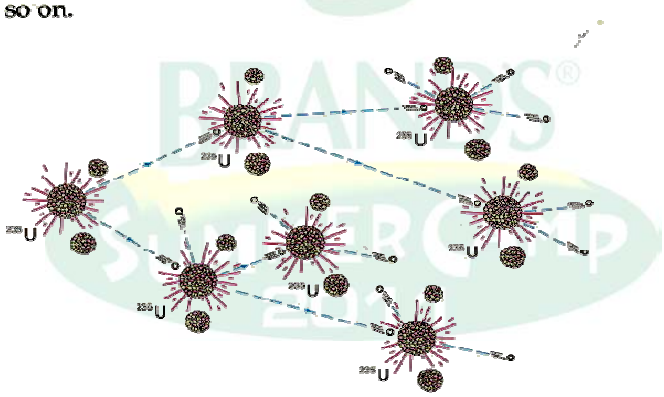
4. ไอโซโทป (Isotope) เป็นธาตุที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากันแต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน ไอโซโทปของธาตุชนิดเดียวกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกัน เพราะมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน แต่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างกัน เพราะแต่ละไอโอโทปมีมวลไม่เท่ากัน เมื่อให้วิ่งผ่านสนามแม่เหล็กเดียวกันจะมีรัศมีทางวิ่งไม่เท่ากัน เนื่องจากนิวเคลียสที่เป็นไอโซโทปกัน เช่น ไฮโดรเจน ($^{1}_{1}H$), ดิวเทอเรียม ($^{2}_{1}H$) และตริเตียม ($^{3}_{1}H$) มีมวลแตกต่างกัน แต่จะมีสมบัติทางเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีเหมือนกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์แยกไอโซโทปได้ด้วยปฏิกิริยาเคมี การจะวิเคราะห์ไอโซโทป (Isotope) ที่มีมวลแตกต่างกัน จึงต้องอาศัยสมบัติทางกายภาพที่โดยการวิเคราะห์นี้จะใช้อุปกรณ์ที่วัดมวลได้ละเอียดมาก ซึ่งเรียกว่า **แมสสเปคโทรมิเตอร์**

5. ปฏิกิริยาแบบฟิชชัน (Fission)

เกิดจากการที่นิวเคลียสขนาดใหญ่แตกออกเป็นนิวเคลียสขนาดเล็กอันเนื่องมาจากการใช้อนุภาคที่มีพลังงานสูงวิ่งเข้าชนนิวเคลียสแล้วได้พลังงานถูกปลดปล่อยออกมา



- **A chain reaction occurs when the neutrons released from one fission trigger other fissions, which trigger further fissions, and so on.**



ข้อควรจำ

1. พลังงานที่ได้จากสมการ เรียกว่า พลังงานต่อปฏิกิริยา
2. พลังงานต่อมวล = $\frac{\text{พลังงานต่อปฏิกิริยา}}{\text{เลขมวลของธาตุที่เป็นเชื้อเพลิง}}$
3. ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิชชันสามารถควบคุมปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ได้โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Reactor)

6. ปฏิกิริยาแบบฟิวชัน (Fusion)

ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวของนิวเคลียสของธาตุเบาเป็นนิวเคลียสของธาตุที่หนักกว่าแต่มีมวลรวมหายไป และได้อนุภาคใหม่เกิดขึ้นด้วย เช่น นิวตรอน โปรตอน และอนุภาคนิวตริโน (Neutrino, v ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีมวลน้อย ไม่มีประจุและมีความเร็วเท่าแสง) พร้อมปลดปล่อยพลังงานออกมา

ตัวอย่างของปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชัน เช่น

$${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \text{ -------►} {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 3.3 \text{ MeV}$$

$${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \text{ -------►} {}^{3}_{1}He + {}^{1}_{1}H + 4.0 \text{ MeV}$$

ฟิวชันในดาวฤกษ์และดวงอาทิตย์ เชื่อว่าเป็นการหลอมตัวของ ${}^{1}_{1}H$ เป็น ${}^{4}_{2}He$ ด้วยเหตุผล คือ

1. พื้นผิวของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงมากถึง 10^7 เคลวิน ซึ่งอุณหภูมิสูงมากเช่นนี้จะทำให้ธาตุไฮโดรเจนแตกตัวออกเป็นโปรตอน

2. เมื่อตรวจดูสเปกตรัมจากดวงอาทิตย์ พบว่า เป็นสเปกตรัมของไฮโดรเจน 80% และของฮีเลียม 20%

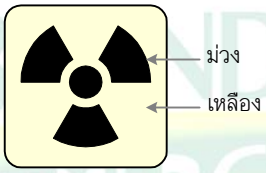
3. ฟิวชันในดวงอาทิตย์เป็นฟิวชันในปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ของโปรตอน-โปรตอน (Proton-Proton chain) เรียงตามลำดับ

ขั้นที่ 1 $${}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \text{ -------►} {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{+1}e + v + Q_1$$

ขั้นที่ 2 $${}^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \text{ -------►} {}^{3}_{2}He + \gamma + Q_2$$

ขั้นที่ 3 $${}^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \text{ -------►} {}^{4}_{2}He + 2{}^{1}_{1}H + Q_3$$

81. เครื่องหมายดังรูปแทนอะไร



1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยกังหันลม
2) การเตือนว่ามีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี
3) การเตือนว่ามีอันตรายจากสารเคมี
4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

82. ข้อความใดต่อไปนี้**ถูกต้อง**เกี่ยวกับรังสีแอลฟา รังสีบีตาและรังสีแกมมา

1) รังสีแอลฟามีประจุ +4
2) รังสีแอลฟามีมวลมากที่สุดและอำนาจทะลุทะลวงผ่านสูงที่สุด
3) รังสีบีตามีมวลน้อยที่สุดและอำนาจทะลุทะลวงผ่านต่ำที่สุด
4) รังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูงที่สุด

83. อัตราการสลายตัวของกลุ่มนิวเคลียสกัมมันตรังสี A ขึ้นอยู่กับอะไร

1) อุณหภูมิ
2) ความดัน
3) ปริมาตร
4) จำนวนนิวเคลียส A ที่มีอยู่

84. รังสีในข้อใดที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านเนื้อสารได้**น้อยที่สุด**

1) รังสีแอลฟา
2) รังสีบีตา
3) รังสีแกมมา
4) รังสีเอกซ์

85. อนุภาคใดในนิวเคลียส $^{236}_{92}U$ และ $^{234}_{90}Th$ ที่มีจำนวนเท่ากัน

1) โปรตอน
2) อิเล็กตรอน
3) นิวตรอน
4) นิวคลีออน

86. ในการสลายตัวของ $^{14}_{6}C$ นิวเคลียสของคาร์บอน-14 ปล่อยอิเล็กตรอนออกหนึ่งตัว นิวเคลียสใหม่จะมีประจุเป็นกี่เท่าของประจุโปรตอน

1) 5
2) 7
3) 13
4) 15

87. คาร์บอนเป็นธาตุที่เป็นส่วนสำคัญของสิ่งมีชีวิต สัญลักษณ์นิวเคลียส $^{12}_{6}C$ แสดงว่านิวเคลียสของคาร์บอนนี้มีอนุภาคตามข้อใด

1) โปรตอน 12 ตัว นิวตรอน 6 ตัว
2) โปรตอน 6 ตัว นิวตรอน 12 ตัว
3) โปรตอน 6 ตัว อิเล็กตรอน 6 ตัว
4) โปรตอน 6 ตัว นิวตรอน 6 ตัว

88. นิวเคลียสของเรเดียม-226 มีการสลายดังสมการข้างล่าง x คืออะไร

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + x$$

1) รังสีแกมมา
2) อนุภาคบีตา
3) อนุภาคนิวตรอน
4) อนุภาคแอลฟา

89. นิวเคลียสของเรเดียม-226 ($^{226}_{88}Ra$) มีการสลายโดยการปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 ตัวและรังสีแกมมาออกมา จะทำให้ $^{226}_{88}Ra$ กลายเป็นธาตุใด

1) $^{218}_{84}Po$
2) $^{222}_{86}Rn$
3) $^{230}_{90}Th$
4) $^{234}_{92}U$

90. ธาตุกัมมันตรังสีใดที่ใช้ในการคำนวณหาอายุของวัตถุโบราณ

1) I-131
2) Co-60
3) C-14
4) P-32

91. กิจกรรมการศึกษาที่เปรียบการสลายกัมมันตรังสีกับการทอดลูกเต๋านั้น จำนวนลูกเต๋าที่ถูกคัดออกเทียบได้กับปริมาณใด

1) เวลาครึ่งชีวิต
2) จำนวนนิวเคลียสตั้งต้น
3) จำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่
4) จำนวนนิวเคลียสที่สลาย

92. ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุไอโอดีน-128 มีครึ่งชีวิต 25 นาที ถ้ามีไอโอดีน-128 ทั้งหมด 256 กรัม จะใช้เวลาเท่าไรจึงจะเหลือไอโอดีน-128 อยู่ 32 กรัม

1) 50 นาที
2) 1 ชั่วโมง 15 นาที
3) 1 ชั่วโมง 40 นาที
4) 3 ชั่วโมง 20 นาที

93. นักโบราณคดีตรวจพบเรือไม้โบราณลำหนึ่งว่ามีอัตราส่วนของปริมาณ C-14 ต่อ C-12 เป็น 25% ของอัตราส่วนสำหรับสิ่งที่ยังมีชีวิต สันนิษฐานได้ว่าซากเรือนี้มีอายุประมาณกี่ปี
กำหนดให้ครึ่งชีวิตของ C-14 เป็น 5730 ปี

1) 2865 ปี
2) 5730 ปี
3) 11460 ปี
4) 22920 ปี

94. ข้อใด**ถูกต้อง**เกี่ยวกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน (Fusion)

1) เกิดที่อุณหภูมิต่ำ
2) ไม่สามารถทำให้เกิดบนโลกได้
3) เกิดจากนิวเคลียสของธาตุเบาหลอมรวมกันเป็นธาตุหนัก
4) เกิดจากการที่นิวเคลียสของธาตุหนักแตกตัวออกเป็นธาตุเบา

95. ธาตุหรือไอโซโทปในข้อใดที่**ไม่มี**ส่วนเกี่ยวข้องในปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันที่เกิดขึ้นที่ดวงอาทิตย์

1) ไฮโดรเจน
2) ดิวเทอเรียม
3) ทริเทียม
4) ฮีเลียม

96. ข้อใด**ถูกต้อง**เกี่ยวกับไอโซโทปสองไอโซโทปของธาตุชนิดเดียวกัน

1) มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน
2) มีเลขมวลเท่ากัน
3) มีเลขอะตอมเท่ากัน
4) มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน

97. ในธรรมชาติธาตุคาร์บอนมี 3 ไอโซโทป คือ ${}^{12}_{6}C$ ${}^{13}_{6}C$ และ ${}^{14}_{6}C$ ข้อใดต่อไปนี้**ถูก**

1) แต่ละไอโซโทปมีจำนวนอิเล็กตรอนต่างกัน
2) แต่ละไอโซโทปมีจำนวนโปรตอนต่างกัน
3) แต่ละไอโซโทปมีจำนวนนิวตรอนต่างกัน
4) แต่ละไอโซโทปมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนนิวตรอน

98. ข้อใด**ถูกต้อง**สำหรับไอโซโทปของธาตุๆ หนึ่ง

1) มีเลขมวลเท่ากัน แต่เลขอะตอมต่างกัน
2) มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน
3) มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน แต่จำนวนโปรตอนต่างกัน
4) มีผลรวมของจำนวนโปรตอนและนิวตรอนเท่ากัน

99. รังสีใดที่นิยมใช้ในการอาบรังสีผลไม้

1) รังสีเอกซ์
2) รังสีแกมมา
3) รังสีบีตา
4) รังสีแอลฟา

100. รังสีในข้อใดใช้สำหรับฉายฆ่าเชื้อโรคในเครื่องมือทางการแพทย์

1) รังสีแกมมา
2) รังสีบีตา
3) รังสีอินฟราเรด
4) รังสีแอลฟา

101. ข้อใดต่อไปนี้เป็นการกำจัดกากกัมมันตรังสี**ที่ดีที่สุด**

1) เร่งให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้นโดยใช้ความดันสูงมากๆ
2) เผาให้สลายตัวที่อุณหภูมิสูง
3) ใช้ปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบอื่น
4) ใช้คอนกรีตตรึงให้แน่นแล้วฝังกลบใต้ภูเขา

102. โปรตอนและนิวตรอนสามารถอยู่รวมกันเป็นนิวเคลียสได้ด้วยแรงใด

1) แรงดึงดูดระหว่างมวล
2) แรงไฟฟ้า
3) แรงแม่เหล็ก
4) แรงนิวเคลียร์

กลศาสตร์

การวัด แปลความหมายข้อมูล เลขนัยสำคัญ

ตัวเลขนัยสำคัญ

ตัวเลขที่ได้จากการวัดซึ่งแสดงจำนวนของหน่วยต่างๆ อย่างน่าเชื่อถือ ตัวเลขนัยสำคัญทางซ้ายมือสุดแสดงค่าแน่นอนมากที่สุด และตัวเลขนัยสำคัญทางขวามือสุดสำคัญน้อยที่สุด

การนับจำนวนตัวเลขนัยสำคัญ

1. **เลข 1 ถึง 9 เป็นเลขนัยสำคัญ**
2. **เลข 0**

เลข 0 เป็นเลขนัยสำคัญ เมื่อมีจุดทศนิยมแล้วตามหลังเลขอื่นหรืออยู่ระหว่างเลขอื่น

เลข 0 ไม่เป็นเลขนัยสำคัญ เมื่ออยู่หน้าเลขอื่น เช่น 004 s, 0.03 g, 0.002 m ต่างมีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

เลข 0 นับเป็นเลขนัยสำคัญหรือไม่นับก็ได้ เมื่อตามหลังเลขอื่นโดยไม่มีจุดทศนิยม เช่น 900 m ถือว่ามีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว หรือ 2 ตัว หรือ 3 ตัวก็ได้ ถ้าต้องการเน้นให้ว่ามีนัยสำคัญมีกี่ตัวควรเขียนอยู่ในรูปสิบยกกำลัง เช่น ต้องการมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัวควรเขียน 5.0×10^2 m เป็นต้น

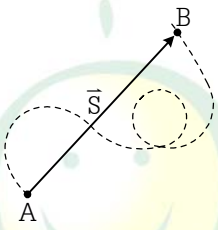
เมื่อได้ข้อมูลจากการวัดเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องนำข้อมูลที่วัดได้ไปคำนวณ และเนื่องจากค่าที่ได้จากการวัดมีความไม่แน่นอนจึงทำให้ผลการคำนวณมีความไม่แน่นอนด้วย

1. **การบวกและการลบ** : ให้ผลลัพธ์มีตำแหน่งทศนิยมเท่ากับตำแหน่งทศนิยมน้อยที่สุดของจำนวนที่นำมาบวกหรือลบกัน เช่น ทองมวล 13.6 กรัม เพชรมวล 1.22 กรัม นำมาทำแหวนเพชรมวลรวมเท่าใด 13.6 + 1.22 = 14.82 กรัม เมื่อตอบตามหลักการเลขนัยสำคัญต้องตอบ 14.8 กรัม

2. การคูณและการหาร : ให้ผลลัพธ์มีเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดของจำนวนที่นำมาคูณหรือหารกัน เช่น วัตถุมวล 405 กรัม ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีความหนาแน่นเท่าใด $\frac{405}{25}$ = 16.2 g/cm^3 เมื่อตอบตามหลักเลขนัยสำคัญต้องตอบ 16 g/cm^3

การเคลื่อนที่ในแนวหนึ่งมิติ

1. ระยะทาง (Distance) คือ ความยาวตามเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นปริมาณสเกลาร์ วัตถุเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ตามแนวเส้นประ



2. การกระจัด (Displacement) คือ ระยะทางในแนวตรงจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้ายของวัตถุ และมีทิศจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย กระจัดของการเคลื่อนที่จาก A ไป B จะเท่ากับระยะ $\vec{S}$ มีทิศจาก A ไป B หรือ AB

3. อัตราเร็ว (Speed)

3.1 อัตราเร็วเฉลี่ย (Average Speed, v_{av}) คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้หารด้วยช่วงเวลาของการเคลื่อนที่นั้น ซึ่งอัตราเร็วเป็นปริมาณสเกลาร์

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{ช่วงเวลา}}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{มีหน่วยเป็น m/s}$$

3.2 อัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Speed, v) คือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางต่อเวลาในช่วงที่น้อยมากๆ เข้าใกล้ศูนย์

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

ตามปกติแล้วเมื่อกล่าวว่าอัตราเร็วจะหมายถึง อัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่ง และอัตราเร็วเฉลี่ยจะมีค่าเท่าอัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่ง เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่

4. ความเร็ว (Velocity)

4.1 ความเร็วเฉลี่ย (Average Velocity ; $\vec{v}_{av}$) คือ การกระจัดที่เปลี่ยนไปต่อช่วงเวลาของการเปลี่ยนการกระจัดซึ่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) และความเร็วเฉลี่ยเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศตามการกระจัดที่เปลี่ยนไป

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

4.2 ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Velocity ; $\vec{v}$) คือ ความเร็วของวัตถุที่จุดเวลาหนึ่งหรือขณะผ่านจุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งหาได้โดยการหาความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาที่น้อยมากๆ ที่กล่าวว่าเวลาเข้าใกล้ศูนย์

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

5. ความเร่ง (Acceleration) คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปต่อช่วงเวลา มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที^{2} และความเร่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยเรานิยามความเร่ง ดังนี้

$$\text{ความเร่ง} \equiv \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

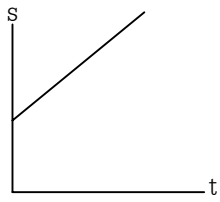
$$= \frac{\text{ความเร็วปลาย } (\vec{v}_2) - \text{ความเร็วต้น } (\vec{v}_1)}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

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

- ความเร่งมีทิศเดียวกับความเร็วจะทำให้การเคลื่อนที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น
- ความเร่งมีทิศตรงข้ามกับความเร็ว เรียกอีกอย่างว่า ความหน่วง (Deceleration) จะทำให้การเคลื่อนที่มีความเร็วลดลง
- ความเร่งมีทิศตั้งฉากกับความเร็ว จะทำให้การเคลื่อนที่มีทิศของความเร็วเปลี่ยนโดยขนาดของความเร็วคงที่

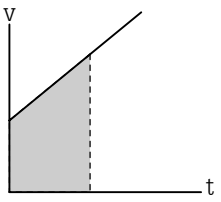
6. กราฟความสัมพันธ์ การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง และเวลา

กราฟระหว่างการกระจัด (s) กับเวลา (t)



ความเร็วหาได้จากความชันของกราฟ

กราฟระหว่างความเร็ว (v) กับเวลา (t)



ความเร่งหาได้จากความชันของกราฟ
การกระจัดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ

7. สมการการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร่งคงที่

ถ้า s คือ การกระจัด, u คือ ความเร็วต้น, v คือ ความเร็วปลาย, a คือ ความเร่ง, t คือ เวลา

$$v = u + at$$
$$v^2 = u^2 + 2as$$
$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$
$$s = \frac{(u + v)t}{2}$$
$$s = vt - \frac{1}{2}at^2$$

การแทนสูตรต้องกำหนดเครื่องหมายให้ถูกต้อง เช่น หากกำหนดให้ทิศขาว ($\rightarrow$) เป็นบวก (+) ทุกปริมาณที่มีทิศชี้ขึ้นจะมีค่าบวก ส่วนปริมาณที่ชี้ลงจะมีค่าลบ

8. การตกอิสระ (Free Fall)

วัตถุเคลื่อนที่อย่างเสรีในแนวดิ่ง จะเคลื่อนที่ภายในแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะทำให้วัตถุมีความเร่งเข้าหาจุดศูนย์กลางโลกมีค่าประมาณ 9.8 m/s^2 ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น g ดังนั้นในกรณีของแนวดิ่งจะนำ g แทนใน a ของสมการการเคลื่อนที่ในแนวตรงทั้งหมด นั่นคือ

$$v = u + gt$$
$$v^2 = u^2 + 2gs$$
$$h = ut + \frac{1}{2}gt^2$$
$$h = \frac{(u + v)t}{2}$$

ข้อควรรู้

1. มวลต่างกันที่ความสูงเดียวกัน ความเร็วต้นเท่ากัน ตกถึงพื้นพร้อมกัน
2. เมื่อโยนขึ้น เวลาขึ้นเท่ากับเวลาลง
3. ที่จุดสูงสุด v = 0 มีความเร่งเท่าเดิม (g)
4. ระดับเดียวกัน ขนาดความเร็วขาขึ้น = ขนาดความเร็วขาลง
5. ปล่อยจากหยุดนิ่ง u = 0, ปล่อยจากบอลลูน u = ความเร็วบอลลูนขณะปล่อย

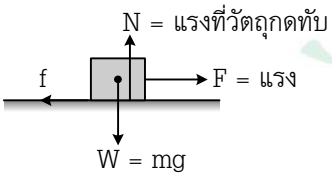
กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

มวล (Mass, M) เป็นสมบัติที่จะต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ (บอกความเฉื่อยของวัตถุ)

แรง (Force, $\vec{F}$) คือ ปริมาณที่พยายามจะเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ

1. แรงเสียดทาน (Frictional Force)

เป็นแรงที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งจะเกิดบนผิวทั้งสองของวัตถุที่สัมผัสกัน ซึ่งค่าของแรงเสียดทานจะขึ้นกับชนิดของผิวสัมผัสและแรงที่วัตถุกดทับลงบนพื้น และทิศทางจะชี้ในทิศที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ



$$f = \mu N$$

f = แรงเสียดทาน (หน่วยเป็นนิวตัน)

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction)

N = แรงที่วัตถุกดในแนวตั้งฉากกับพื้น (หน่วยเป็นนิวตัน)

1. แรงเสียดทานสถิต (Static Friction) ผิววัตถุทั้งสองไม่มีการเคลื่อนที่หรือไม่ลื่นไถล เช่น แรงเสียดทานที่ถนนกระทำต่อพื้น-รองเท้าเวลาเดิน จะหาได้จากสมการ

$$f_s \leq \mu_s N$$

และจะได้ $f_{s(max)} = \mu_s N$

โดยที่ μ_s คือ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิต

และ N คือ แรงปฏิกิริยาในทิศตั้งฉากกับผิวสัมผัส

2. แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic Friction) ผิวทั้งสองของวัตถุที่สัมผัสกันและผิววัตถุทั้งสองมีการเคลื่อนที่หรือมีการไถล เช่น แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อก้นของเด็กขณะไถลลงมาตามไม้กระดาน จะหาได้จากสมการ

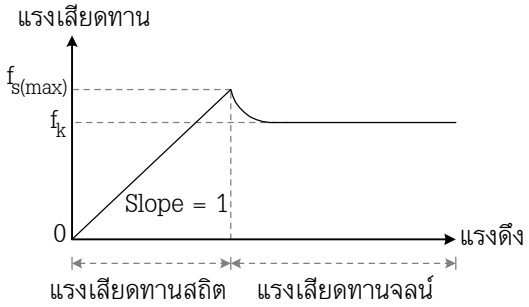
$$f_k = \mu_k N$$

โดยที่ μ_k คือ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจลน์ และ N คือ แรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับผิวสัมผัส

ข้อสังเกตเกี่ยวกับเรื่องแรงเสียดทาน

- สำหรับวัตถุเมื่อมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน ทิศของแรงเสียดทานตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- แรงเสียดทานขึ้นกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉากระหว่างผิวทั้งสองที่สัมผัสกัน
- สำหรับของแข็งแรงเสียดทานประมาณได้ว่าไม่ขึ้นกับพื้นที่ของผิวสัมผัส
- แรงเสียดทานขึ้นกับชนิดของผิวที่สัมผัสกัน
- สำหรับผิวทางอุดมคติที่มีแรงปฏิกิริยาตั้งฉากคงที่ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลงอย่างช้าๆ เมื่อความเร็วสัมพัทธ์ ระหว่างผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นมากๆ

- Richard Feynman สังเกตได้ว่าสำหรับผิวทางอุดมคติสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์



2. กฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน

"วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เมื่อแรงลัพธ์ที่มากระทำมีค่าเป็นศูนย์"
หรือกล่าวได้ว่า หากวัตถุประพฤติตนตามกฎข้อนี้ วัตถุจะอยู่ในสภาวะสมดุล

1. สมดุลต่อการเคลื่อนที่ (Translation Equilibrium)

เมื่อวัตถุรักษาสภาพการเคลื่อนที่ กล่าวคือ เดิมวัตถุอยู่สภาพเช่นไรต่อไปก็คงอยู่ในสภาพเช่นนั้น

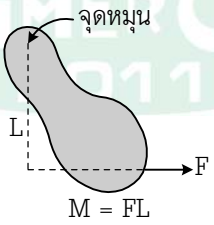
$$\sum \vec{F} = 0$$

2. สมดุลต่อการหมุน (Rotational Equilibrium)

เมื่อวัตถุอยู่นิ่งไม่มีการหมุน หรือถ้าวัตถุมีการหมุนก็จะหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะเป็นเงื่อนไขนี้ได้เมื่อ**โมเมนต์ลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์**

$$\sum \vec{M} = 0$$

โดยที่โมเมนต์ **(Moment)** คือ ผลหมุนของแรงรอบจุดหมุน ซึ่งหาได้จากผลคูณระหว่างแรงกับระยะทางจากจุดหมุนมาตั้งฉากกับแนวแรง หรือผลคูณระหว่างระยะห่างจากจุดหมุนกับแรงในแนวตั้งฉาก



3. สมดุลสัมบูรณ์

เมื่อวัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่ง ($\sum \vec{F} = 0$) และสมดุลต่อการหมุน ($\sum \vec{M} = 0$) พร้อมๆ กัน เรากล่าวว่าวัตถุอยู่ในภาวะสมดุลสัมบูรณ์

- กรณีที่วัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่ การหาค่าโมเมนต์จะใช้จุดใดเป็นจุดหมุนก็ได้
- กรณีที่วัตถุไม่สมดุลต่อการเลื่อนที่แต่สมดุลต่อการหมุน การหาโมเมนต์ต้องใช้จุดศูนย์กลางมวลเป็นจุดหมุน

3. กฎข้อสองของนิวตัน

"เมื่อมีแรงลัพธ์ซึ่งมีขนาดไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดความเร่งในทิศเดียวกับแรงลัพธ์ และขนาดของแรงจะแปรผันตรงกับขนาดของความเร่งและขนาดของมวล" โดยเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$

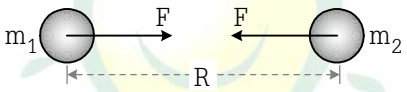
โดยที่ $\Sigma\vec{F}$ คือ ผลรวมของแรงทั้งหมด (แรงลัพธ์) ที่กระทำต่อวัตถุ (หน่วยเป็น นิวตัน : N), m คือ มวลของวัตถุ (หน่วยเป็น กิโลกรัม : kg), $\vec{a}$ คือ ความเร่งของวัตถุเนื่องจากแรง (หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที^{2} : m/s^2)

4. กฎข้อที่สามของนิวตัน

"เมื่อมีแรงกิริยาก็ย่อมมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงข้ามเสมอ"

5. กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

"วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะออกแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน แรงดึงดูดของวัตถุคู่หนึ่งๆ จะแปรผันตรงกับมวลของวัตถุทั้งสอง และจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง"



โดยขนาดของแรงเป็นไปตามสมการ

$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$$

โดยที่ $G = 6.673 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$ คือ ค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล

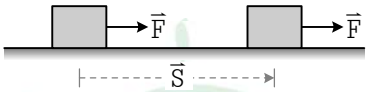
- ทิศทางของแรงจะชี้จากวัตถุที่พิจารณาไปสู่วัตถุอีกก้อนหนึ่ง
- แรงที่ m_1 ได้รับเนื่องจาก m_2 เป็นแรงคู่กิริยากับแรงที่ m_2 ได้รับจาก m_1 ตามกฎข้อที่ 3
- น้ำหนักของวัตถุ คือ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุ ทิศของน้ำหนักจะมีทิศพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางของโลก มีหน่วยเป็นนิวตัน ($\vec{F}_g = m\vec{g}$)

งานและพลังงาน

1. งาน (Work : W) เป็นผลของการออกแรง ($\vec{F}$) ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ ระยะกระจัด ($\vec{S}$) ตามแนวแรงซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงกับระยะกระจัดตามแนวแรง และมีหน่วยเป็นจูล (Joules : J)

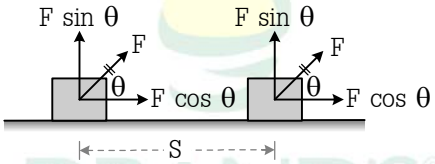
งานของแรงคงที่ : มีแรง $\vec{F}$ ที่คงที่ (ขนาดคงที่และทิศคงที่) กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ ระยะกระจัด ($\vec{S}$) ในทิศเดียวกับแรง งานเนื่องจากแรง $\vec{F}$ หาได้จาก

$$W \equiv \vec{F} \cdot \vec{S}$$

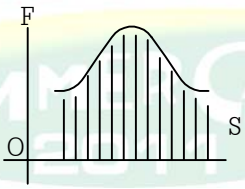


โดยทั่วไปแล้วแรงอาจไม่ได้อยู่ในแนวของการกระจัด เราสามารถหางานได้จากการแตกแรงมาอยู่ในแนวของการกระจัด แล้วใช้แรงแนวการกระจัดคูณกับการกระจัดของวัตถุ ส่วนองค์ประกอบของแรงในแนวตั้งฉากกับการกระจัดไม่เกิดงาน

$$W \equiv FS\cos\theta$$



งานของแรงที่ไม่คงที่ กรณีเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ หางานจากพื้นที่ใต้กราฟ F-S



2. กำลัง (Power : P) คือ อัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt : W)

$$P \equiv \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

3. พลังงานจลน์ของการเลื่อนที่ (Kinetic Energy : E_K) คือ พลังงานที่เกี่ยวเนื่องกับการเลื่อนที่ของวัตถุ

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

4. พลังงานศักย์ (Potential Energy)

1. พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy : E_P) เป็นพลังงานของวัตถุที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งความสูงของวัตถุ

$$E_P = mgh$$

เราสามารถกำหนดแกนอ้างอิงในการพิจารณาพลังงานศักย์โน้มถ่วง (เมื่อ g มีค่าคงที่) โดยสมมติให้แนวใดมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นศูนย์ก็ได้

2. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Potential Energy : E_{el}) เป็นพลังงานที่สะสมภายในสปริงเนื่องจากการทำงานให้กับสปริง

$$E_{el} = \frac{1}{2}kx^2$$

โดยแรงในการบีบหรืออัดสปริงคำนวณได้จาก กฎของฮุคค์ (Hooke's Law)

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

โดยที่ $\vec{x}$ เป็นการกระจัดที่วัดเทียบกับตำแหน่งสมดุลของสปริง (ตำแหน่งปลายสปริง ขณะที่ไม่มีแรงมากระทำ) และทิศทางของแรงจะชี้สวนทางกับทิศของการกระจัด

5. ทฤษฎีงาน – พลังงาน (Work – Energy Theorem) "งานเกิดจากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับพลังงานจลน์ของอนุภาคที่เปลี่ยนไป"

$$W = \Delta E_K$$

W คือ งานที่เกิดจากแรงลัพธ์ทั้งหมด

6. กฎการอนุรักษ์พลังงาน (The Law of Energy Conservation)

"หากไม่มีแรงลัพธ์จากภายนอกกระทำกับระบบ พลังงานรวมของระบบจะไม่สูญหายแต่อาจเปลี่ยนจากพลังงานรูปหนึ่งไปอีกรูปหนึ่ง"

เช่น หากภายในระบบมีแรงโน้มถ่วงและแรงจากสปริง

$$\frac{1}{2}mu^2 + mgh_1 + \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_2 + \frac{1}{2}kx_2^2$$

โมเมนตัมและการดล

1. **โมเมนตัมเชิงเส้น** (Linear Momentum : $\vec{P}$) คือ ผลคูณของมวลกับความเร็ว เป็นปริมาณเวกเตอร์

$$\vec{P} \equiv m\vec{v}$$

ตามที่เราได้ศึกษากฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตันมาแล้ว

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$$

หรือกล่าวได้ว่า แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของวัตถุ

การดล (Impulse : $\vec{I}$) คือ การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมที่เกิดจากแรงดล $\vec{F}$

$$\vec{I} \equiv \vec{F}\Delta t$$

2. **หลักการอนุรักษ์โมเมนตัม** (Conservation of Linear Momentum)

"หากไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ผลรวมของโมเมนตัมของระบบจะมีค่าคงที่" ซึ่งมาจาก

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t} = \frac{\vec{P}_f - \vec{P}_i}{\Delta t}$$
$$\vec{F}\Delta t = \vec{P}_f - \vec{P}_i$$
$$\vec{P}_f = \vec{P}_i \text{ เมื่อ } \vec{F} = 0$$

3. **การชนใน 1 มิติ** (Collisions In One Dimension)

การชนของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเดียวกันตอนก่อนชนและเมื่อชนกันแล้ว ก็มีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเดิม ซึ่งจะเป็นการชนแบบยืดหยุ่น หรือไม่ยืดหยุ่นก็ได้ หากมวล m_1 ชนกับ m_2 โดยก่อนชนทั้งสองมีความเร็ว u_1 และ u_2 และหลังชนทั้งคู่มีความเร็ว v_1 และ v_2 ในทุกการชน

- โมเมนตัมของระบบก่อนชนเท่ากับโมเมนตัมของระบบหลังชน

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$$

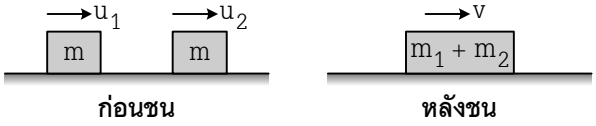
- ความเร็วของจุดศูนย์กลางมวลก่อนชนเท่ากับหลังชน

$$v_{C.M.}^{\text{ก่อนชน}} \equiv \frac{m_1u_1 + m_2u_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} \equiv v_{C.M.}^{\text{หลังชน}}$$

อันเป็นผลมาจากการอนุรักษ์โมเมนตัม

สิ่งที่แตกต่างในการชนประเภทต่างๆ ได้แก่

1. **การชนแบบไม่ยืดหยุ่น** (Inelastic Collision)
   - พลังงานจลน์ของระบบก่อนชนมากกว่าพลังงานจลน์ของระบบหลังชน
2. **การชนแบบไม่ยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์** (Perfectly Inelastic Collision)
   - วัตถุจะติดไปด้วยกันภายหลังชน



   - กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมลดรูปลงเหลือ

$$m_1u_1 + m_2u_2 = (m_1 + m_2)v$$

   - ไม่อนุรักษ์พลังงานจลน์
3. **การชนแบบยืดหยุ่น** (Elastic Collision)
   - พลังงานจลน์ของระบบก่อนชนเท่ากับพลังงานจลน์ของระบบหลังชน

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

4. **การดีดตัวจากกันและการระเบิด** (Explosion)

เป็นกรณีที่เดิมวัตถุอยู่ด้วยกัน แล้วแยกแตกออกจากกันเป็นชิ้นๆ

1. อนุรักษ์โมเมนตัม คือ โมเมนตัมก่อนระเบิดเท่ากับโมเมนตัมหลังระเบิด

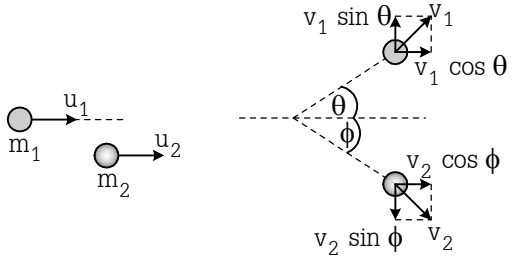
$$M\vec{u} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \ldots + m_n\vec{v}_n$$

2. พลังงานจลน์ก่อนระเบิด ไม่เท่ากับพลังงานจลน์หลังระเบิด
3. อนุรักษ์ความเร็วของจุดศูนย์กลางมวล

สำหรับกรณีพิเศษที่ วัตถุก่อนระเบิดหยุดนิ่ง

- **ถ้าระเบิดออกเป็นสองชิ้น** โมเมนตัมของแต่ละชิ้นจะมีขนาดเท่ากับทิศตรงข้าม
- **ถ้าระเบิดออกเป็นสามชิ้น**
  - ผลรวมของโมเมนตัมสองชิ้นต้องมีขนาดเท่ากับชิ้นที่สาม และทิศตรงข้าม
  - ทั้งสามชิ้นต้องมีโมเมนตัมอยู่ในระนาบเดียวกัน
  - เขียนลูกศรแทนโมเมนตัม สร้างรูปแบบหัวต่อหางจะเป็นรูปปิดพอดี
  - นำขนาดของโมเมนตัมสองชิ้นมาบวกกันต้องได้ค่ามากกว่าหรือเท่ากับชิ้นที่สามที่มากที่สุด

5. การชนใน 2 มิติ (Collision In Two Dimensions)



1. อนุรักษ์โมเมนตัม โดยแยกพิจารณาอนุรักษ์โมเมนตัมตามแกน x และอนุรักษ์โมเมนตัม ตามแกน y เช่น จากภาพ

ก่อนชน = หลังชน

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1\cos\theta + m_2v_2\cos\phi \quad \text{ตามแกน x}$$
$$0 = m_1v_1\sin\theta - m_2v_2\sin\phi \quad \text{ตามแกน y}$$

2. ถ้าเป็นการชนอย่างยืดหยุ่นจะอนุรักษ์พลังงานจลน์ ตามสมการ

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

3. ถ้าเป็นการชนอย่างยืดหยุ่น และก้อนที่ถูกชนหยุดนิ่ง
   - ถ้ามวลมากชนมวลน้อย ภายหลังชนมวลทั้งสองจะแยกจากกัน**เป็นมุมแหลม**
   - ถ้ามวลน้อยชนมวลมาก ภายหลังชนมวลทั้งสองจะแยกออกจากกัน**เป็นมุมป้าน**
   - ถ้ามวลเท่ากันชนกัน ภายหลังชนมวลทั้งสองจะแยกออกจากกัน**เป็นมุมฉาก**

การเคลื่อนที่ใน 2 มิติ

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile Motion)

มีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ **ประการแรกความเร็วในแนวดิ่งของวัตถุไม่คงที่ ประการที่สอง ความเร็วในแนวราบของวัตถุคงที่** หลักในการทำโจทย์ คือ แยกคิดทีละแนว

- ถ้าความเร็วไม่อยู่ในแนวราบให้แตกความเร็วเป็นสองแนว
- แนวราบใช้สมการ

$$S_x = u_x t = (u \cos \theta)t$$

- แนวดิ่งใช้สมการการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งด้วยความเร่ง g
- แนวทางการเคลื่อนที่จะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา
- สามารถใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน แก้โจทย์ปัญหาได้
- ความเร็วที่ตำแหน่งใดๆ สามารถหาได้จากการรวมแบบเวกเตอร์ของความเร็วตามแนวดิ่ง (v_y) กับความเร็วตามแนวระดับ (v_x) ตามสมการ

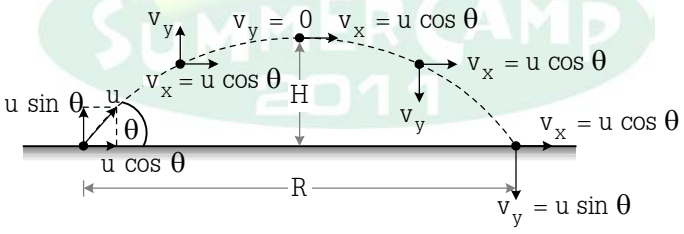
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

- ต้องการบอกทิศของความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถบอกเป็นมุม เช่น ทำมุม α กับแนวระดับก็จะได้

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

กรณีตัวอย่าง

เมื่อความเร็วต้นอยู่ในแนวทำมุมกับแนวระดับ

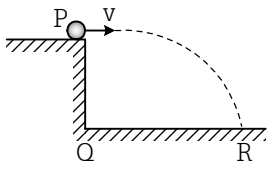


ระยะสูงสุดของการเคลื่อนที่ $H = \frac{u^2 \sin^2 \theta}{2g}$

ระยะตามแนวระดับ $R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$

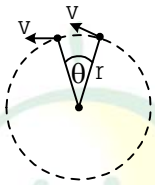
โดยวัตถุจะตกไกลสุดตามแนวราบ ต้องยิงด้วยมุม 45° และถ้ามุมที่ยิงสองมุมรวมกันได้ 90° วัตถุจะตกที่จุดเดียวกัน

เมื่อความเร็วต้นอยู่ในแนวระดับ



- บนที่สูงจากพื้นเท่าเดิมถ้ายิงวัตถุออกไปในแนวราบด้วยความเร็วต้น มากกว่าเดิม ระยะตกไกลสุดในแนวราบจะมากขึ้น
- บนที่สูงเดียวกันเมื่อยิงวัตถุอันหนึ่งออกไปในแนวราบ ขณะเดียวกันวัตถุอีกก้อนหนึ่งถูกปล่อยให้ตกในแนวดิ่งพร้อมกัน วัตถุทั้งสองก้อนจะตกถึงพื้นพร้อมกัน

การเคลื่อนที่เป็นวงกลม (Circular Motion)



ปริมาณต่างๆ มีดังนี้

- **คาบ (Period) :** T คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ
- **ความถี่ (Frequency) :** f คือ จำนวนรอบที่เคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งมีค่าเป็นส่วนกลับของคาบ

$$f = \frac{1}{T}$$

- **ความเร็วเชิงเส้น (Linear Velocity) :** $\vec{v}$ คือ ความเร็วของวัตถุในขณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม มีขนาดเป็น

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi rf$$

และมีทิศชี้สัมผัสไปกับผิวของวงกลม

- **อัตราเร็วเชิงมุม (Angular Speed) :** ω คือ อัตราการเปลี่ยนค่าของมุมต่อเวลา

$$\omega \equiv \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

และมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วเชิงเส้น ดังนี้

$$v = \omega r$$

- **ความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration) :** $\vec{a}_c$ คือ การเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงเส้นในบัดดล มีขนาดเป็น

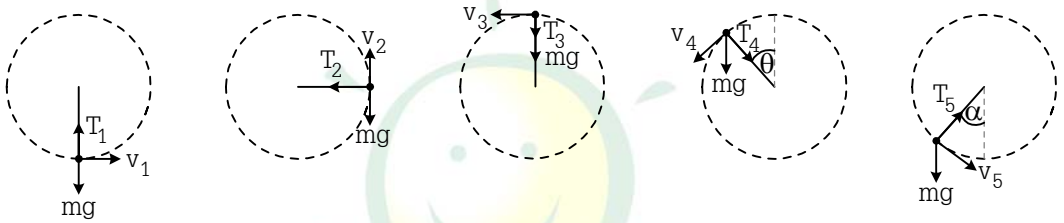
$$a_c \equiv \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

หลักในการคำนวณแรง ในการเคลื่อนที่แบบวงกลม วัตถุไม่อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นอย่าตั้งสมการสมดุล $\Sigma F = 0$ แต่ควรหาแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุทั้งหมด โดยทิศทางของแรงลัพธ์จะชี้ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ ($\vec{v}$) และขนาดหาได้จาก

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

ตัวอย่าง การเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวดิ่ง

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ผูกเชือกแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่งทุกๆ ตำแหน่งวัตถุจะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลาง (F_c) เพื่อเปลี่ยนทิศของความเร็วให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม



ก. **ข.** **ค.** **ง.** **จ.**

ก. เมื่อวัตถุเคลื่อนผ่านตำแหน่งต่ำสุด

$$T_1 - mg = \frac{mv_1^2}{r}$$

ข. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่เชือกอยู่ในแนวระดับ

$$T_2 = \frac{mv_2^2}{r}$$

ค. เมื่อวัตถุเคลื่อนผ่านตำแหน่งสูงสุด

$$T_3 + mg = \frac{mv_3^2}{r}$$

ง. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่เชือกทำมุม θ กับแนวดิ่ง

$$T_4 + mg\cos\theta = \frac{mv_4^2}{r}$$

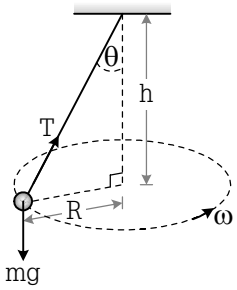
จ. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่เชือกทำมุม α กับแนวดิ่ง

$$T_5 - mg\cos\alpha = \frac{mv_5^2}{r}$$

จุดสังเกตที่น่าสนใจ

- ความตึงเชือกไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ตามตำแหน่งของวัตถุ
- อัตราเร็วของวัตถุไม่คงที่ แต่พลังงานรวมคงที่
- อัตราเร็วที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เคลื่อนที่ได้ครบรอบพอดี หาได้จาก $T_3 = 0$ โดยจะได้ว่า $v_1 = \sqrt{5gr}$, $v_2 = \sqrt{3gr}$, $v_3 = \sqrt{gr}$

ตัวอย่าง เพนดูลัมกรวย (Conical Pendulum)



$$T \sin\theta = m\omega^2 R \quad \ldots(1)$$

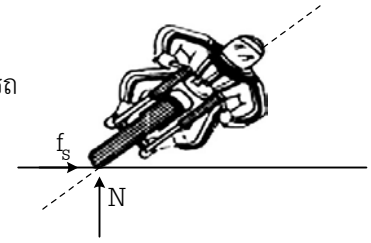
$$T \cos\theta = mg \quad \ldots(2)$$

นำสมการ (1) หารด้วย (2) จะได้

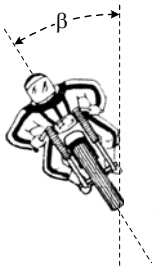
$$\tan\theta = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{R}{h} \Rightarrow h = \frac{g}{\omega^2}$$

ตัวอย่าง การเคลื่อนที่เลี้ยวโค้งในกรณีต่างๆ

รถจักรยานหรือจักรยานยนต์เลี้ยวโค้งบนพื้นระดับโดยไม่ลื่นไถล แรงสู่ศูนย์กลางจะเป็นแรงเสียดทานสถิตที่พื้นถนนกระทำต่อยางรถ



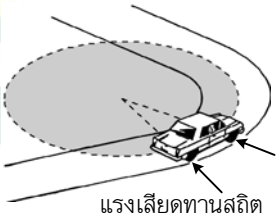
$$f_s = \mu_s(mg) = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow v_{max} = \sqrt{\mu_s gR}$$



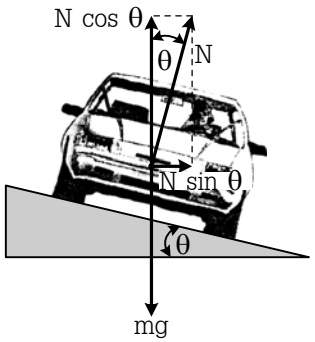
รถจักรยานหรือจักรยานยนต์เลี้ยวโค้งบนพื้นระดับโดยไม่พลิกคว่ำ

$$\tan\beta = \frac{v^2}{Rg} \Rightarrow \beta = \tan^{-1}\left(\frac{v^2}{gR}\right)$$

รถยนต์เลี้ยวโค้งพื้นระดับโดยไม่ลื่นไถล



$$f_s = \mu_s(mg) = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow v_{max} = \sqrt{\mu_s gR}$$

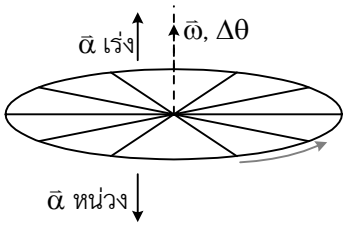


มุมเอียงของถนนลื่นที่ทำให้รถเลี้ยวโค้งได้

$$N \cos\theta = mg$$

$$N \sin\theta = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \tan\theta = \frac{v^2}{Rg}$$

การเคลื่อนที่แบบหมุนของวัตถุแข็งเกร็ง
(Rotation of a Rigid Body)



- **ความเร็วเชิงมุม :** ขนาดมีค่าเป็น

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

ทิศทางชี้ตามกฎมือขวา (นิ้วทั้งสี่งอตามแนวหมุนนิ้ว โป้งขวาบอกทิศของ $\vec{\omega}$)

- **ความเร่งเชิงมุม :**

$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงมุมและเชิงเส้นเป็นไปตามสมการ ดังนี้

อัตราเร็วเชิงเส้น $v = \omega r$

อัตราเร่งเชิงเส้น $a_t = \alpha r$

อัตราเร่งสู่ศูนย์กลาง $a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$

ความเร่งลัพธ์ $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$

ตารางเปรียบเทียบสมการการเคลื่อนที่แนวตรงกับสมการการเคลื่อนที่แบบหมุน

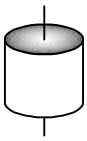
การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear Motion)	การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotational Motion)
$s = vt$	$\theta = \omega t$
$\frac{s}{t} = \frac{u+v}{2}$	$\frac{\theta}{t} = \frac{\omega_0+\omega}{2}$
$v = u + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$s = ut + \frac{1}{2}at^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
$v^2 = u^2 + 2as$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

1. โมเมนต์ความเฉื่อยและทอร์ก (Moments of Inertia & Torque)

- **โมเมนต์ความเฉื่อย :** I บอกสมบัติด้านการเปลี่ยนสภาพการหมุนของวัตถุแข็งเกร็งโดยขึ้นกับรูปร่างของวัตถุและแกนหมุน (I ในการเคลื่อนที่แบบหมุน มีลักษณะคล้ายมวล m ในการเคลื่อนที่แนวตรง) หาค่าได้จาก

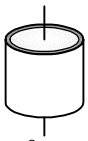
$$I = \sum_i m_i r_i^2$$

โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุแข็งเกร็งที่น่าสนใจ ได้แก่



$I = \frac{1}{2}MR^2$

ลูกทรงกระบอกตัน
รอบแกนสมมาตร



$I = MR^2$

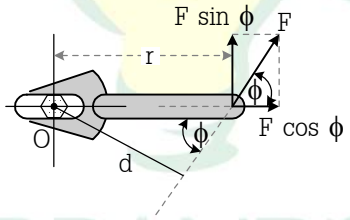
ลูกทรงกระบอกกลวงบาง
รอบแกนสมมาตร

- **ทอร์ก :** $\vec{\tau}$ เกิดจากแรงที่กระทำต่อวัตถุแข็งเกร็งที่ถูกตรึงด้วยแกนหนึ่ง อันจะนำไปสู่การหมุนรอบแกนนั้น ($\vec{\tau}$ ในการเคลื่อนที่แบบหมุน มีลักษณะคล้ายแรง $\vec{F}$ ในการเคลื่อนที่แนวตรง) หาค่าได้จาก

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

โดยสามารถหาขนาดได้จาก

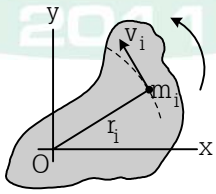
$$\tau = rF \sin \phi = Fd$$



ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและความเร่งเชิงมุม มีลักษณะคล้ายกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$$

พลังงานจลน์ของการหมุน



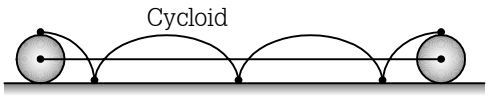
เกิดจากผลรวมของพลังงานในการเลื่อนที่ของแต่ละส่วนของวัตถุ

$$E_K = \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} \sum_i m_i v_i^2 \omega^2$$

หรือเขียนได้ว่า

$$E_K = \frac{1}{2} I\omega^2$$

2. การเคลื่อนที่แบบกลิ้ง



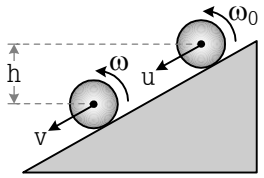
พลังงานจลน์การกลิ้งหาได้จากผลรวมระหว่าง พลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ และพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่แบบหมุน

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

3. งานและพลังงานของการเคลื่อนที่แบบหมุน

1. งานในการหมุนวัตถุ : $W = \tau\theta$
2. กำลังในการหมุน : $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\tau\theta}{\Delta t} = \tau\omega$

4. อนุรักษ์พลังงานของวัตถุที่เลื่อนตำแหน่งและหมุน



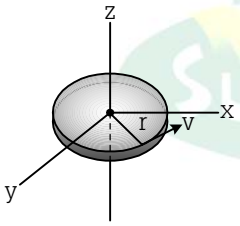
แรงเสียดทานไม่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นพลังงานของล้อขณะอยู่ส่วนบนของพื้นเอียงย่อมเท่ากับพลังงานขณะอยู่ที่ส่วนล่างของพื้นเอียง เราทราบว่า

$$W = \Delta E_P + \Delta E_K^{\text{เลื่อน}} + \Delta E_K^{\text{หมุน}}$$

งานของแรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉากเป็นศูนย์

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mu^2 + \frac{1}{2}I\omega_0^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

5. โมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum : $\vec{L}$)



สำหรับวัตถุมวล m โมเมนตัมเชิงมุมเทียบกับจุดหมุนที่ r นิยามจาก

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

โดยมีขนาดเป็น

$$L = mvr\sin\theta$$

โดยมีทิศตามหัวแม่มือของมือขวาที่กำให้นิ้วทั้งสี่หมุนตามความเร็ว ในกรณีที่ทิศความเร็วผ่านจุดหมุน ($\theta = 0°$ หรือ $180°$) โมเมนตัมเชิงมุมจะมีค่าเป็นศูนย์ และถ้าทิศความเร็วตั้งฉากกับรัศมีการหมุน จะได้โมเมนตัมเชิงมุมมากที่สุด

$$L = mvr = m(\omega r)r = mr^2\omega = I\omega$$

เมื่อมีแรงมากระทำแล้วทำให้เกิดการหมุนรอบแกน แรงนั้นย่อมทำให้เกิดทอร์กและความเร่ง ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\tau = rF = \frac{r(mv - mu)}{\Delta t} = \frac{(mrv - mru)}{\Delta t} = \frac{L_f - L_i}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = I\alpha$$

หากไม่มีทอร์กภายนอกมากระทำ ระบบจะมี**การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม** (Conservation of Angular Momentum)

$$I_i\omega_i = I_f\omega_f = \text{ค่าคงที่}$$

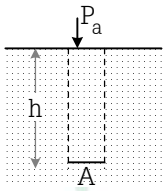
ตารางเปรียบเทียบสมการเชิงเส้นและเชิงมุมในแง่ของแรงและงาน

การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear Motion)	**การเคลื่อนที่แบบหมุน** (Rotational Motion)
$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$	$\Sigma \vec{\tau} = I\vec{\alpha}$
$E_K^{\text{เลื่อนที่}} = \frac{1}{2}mv^2$	$E_K^{\text{หมุน}} = \frac{1}{2}I\omega^2$
$W = Fs$	$W = \iota\theta$
$\vec{p} = m\vec{v}$	$\vec{L} = I\vec{\omega}$
$\Sigma \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$	$\Sigma \vec{\tau} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$
$m_1v_1 = m_2v_2$	$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

กลศาสตร์ของไหล

ของไหลสถิต (Fluid Static)

1. **ปริมาณที่เกี่ยวข้อง**



- **ความหนาแน่น** (Density : ρ) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของของไหลภายในปริมาตรบรรจุ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- **ความดัน** (Pressure : P) คือ แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับพื้นที่

$$P = \frac{F}{A}$$

- **ความดันสัมบูรณ์** (Absolute Pressure) คือ ความดันลัพธ์ หมายถึง เป็นผลรวมทั้งหมดของความดันที่ตำแหน่งนั้นๆ

$$P = \rho gh + P_a$$

โดยที่ P_a คือ ความดันบรรยากาศเหนือชั้นของไหล

- **ความดันเกจ** (Gauge Pressure) คือ ค่าความดันที่วัดเทียบกับความดันบรรยากาศ เป็นปริมาณที่บารอมิเตอร์อ่านค่าได้

$$P_g = \rho gh$$

2. **สมบัติของของไหลสถิต**

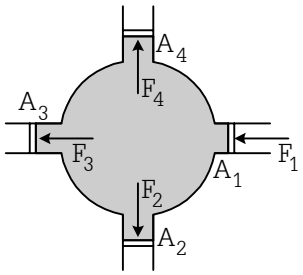
1. ณ จุดใดๆ ในของไหล แรงดันของของไหลมีได้ทุกทิศทุกทาง

2. แรงดันของของไหลจะกระทำต่อผนังของภาชนะ หรือต่อผิวของวัตถุที่อยู่ในของไหลในทิศที่ตั้งฉากกับผิวของวัตถุที่ของไหลสัมผัส

3. ค่าความดันของของไหลชนิดหนึ่งๆ จะขึ้นกับความลึกจากผิวหน้าของของไหล ไม่ขึ้นกับรูปร่างของภาชนะ และปริมาตรของของไหล และที่ความลึกเท่ากันความดันของของไหลสถิตจะเท่ากันหมด

3. กฎของพาสคัล (Pascal's Principle)

"เมื่อเพิ่มความดัน ณ ตำแหน่งใดๆ ในของไหลที่อยู่นิ่งภายในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มขึ้นจะถ่ายทอดไปทุกๆ จุดในของไหลนั้น"

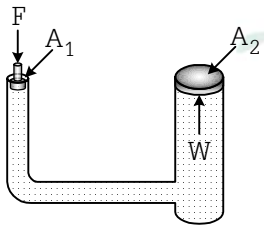


กฎของพาสคัลแปลงเป็นสมการได้ในกรณีนี้ ดังนี้

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_3}{A_3} = \frac{F_4}{A_4}$$

ตัวอย่าง เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press)

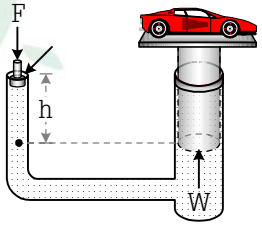
เครื่องอัดไฮดรอลิกทำงานเป็นไปตามกฎของพาสคัล โดยเครื่องอัดดังกล่าวประกอบด้วยทรงกระบอกสองส่วน มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน โดยภายในทรงกระบอกทั้งสองบรรจุของเหลวไว้



จากภาพ จะเห็นว่า แรงดันที่เพิ่มขึ้นจากการกด $\frac{F}{A_1}$ ต้องเท่ากับแรงดันที่ได้รับในการยก $\frac{W}{A_2}$ โดยที่ W คือ น้ำหนักที่ยกได้

ดังนั้นในกรณีนี้

$$\frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$



จากภาพ เนื่องจากปลายกระบอกยกอยู่ต่ำกว่าระดับผิวอยู่ h จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบความดันที่ระดับความลึก h จากผิว

$$\frac{F}{A_1} + \rho gh = \frac{W}{A_2}$$

เราสามารถหาค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องอัดไฮดรอลิกได้จาก

$$\text{การได้เปรียบเชิงกล} = \frac{\text{น้ำหนักที่ยก}}{\text{แรงที่ออก}}$$

4. **แรงลอยตัวและหลักของอะคีมีดีส** (Buoyant Force and Archimedes' Principle)

"วัตถุใดๆ ที่จมอยู่ในของไหลทั้งก้อน หรือจมอยู่เพียงบางส่วนจะถูกแรงลอยตัวกระทำในทิศขึ้นในแนวดิ่งด้วยขนาดของแรงเท่ากับขนาดของน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุแทนที่" โดยขนาดของแรงเขียนได้ดังนี้

$$B = \rho Vg$$

ข้อควรระวัง : ρ เป็นความหนาแน่นของของไหล ไม่ใช่ของวัตถุ ส่วน V เป็นปริมาตรของวัตถุ

5. **แรงตึงผิวและความหนืด** (Surface Tension & Viscosity)

1. **ความตึงผิว** (Surface Tension : γ) คือ อัตราส่วนของแรงที่ทำไปตามผิวของของไหลต่อความยาวผิวที่ถูกแรงกระทำ มีหน่วยเป็น (N/m)

$$\gamma = \frac{F}{\ell}$$

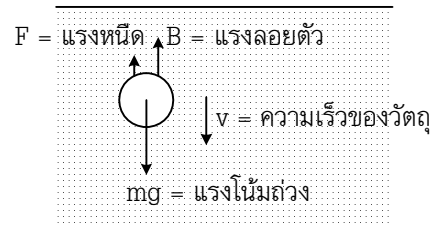
2. **ความหนืด** (Viscosity : η) เป็นสมบัติของของไหลที่จะต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล
   - ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง หรือความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม
   - ความหนืดขึ้นกับชนิดของของไหล
   - วัตถุเคลื่อนด้วยความเร็วมากจะมีแรงหนืดมาก และทิศของแรงหนืดตรงข้ามกับความเร็ว
   - แรงหนืดขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ

ตัวอย่าง วัตถุทรงกลมรัศมี R จะรู้สึกถึงแรงหนืดขนาด F_d เมื่อเคลื่อนที่ผ่านของเหลวที่มีความหนืด η ด้วยอัตราเร็ว v ดังนี้

$$F_d = 6\pi\eta Rv$$

พิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกโลหะกลมที่ปล่อยให้เคลื่อนที่ไปในของเหลว เราสามารถสรุปการเคลื่อนที่ในของเหลวได้เป็นช่วง ดังนี้

1. **ช่วงแรก** เคลื่อนที่ด้วยความเร่งมาก ความเร็วเพิ่มขึ้น
2. **ช่วงสอง** เคลื่อนที่ด้วยความเร่งลดลง ความเร็วเพิ่มขึ้น
3. **ช่วงสุดท้าย** เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เรียกว่า **ความเร็วปลาย** (Terminal Velocity)



พลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics)

1. ของไหลอุดมคติ (Ideal Fluid)

เราจะถือว่าของไหลที่จะศึกษาเป็น **ของไหลอุดมคติ** โดยกำหนดให้ของไหลอุดมคติมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ของไหลมีการไหลอย่างสม่ำเสมอ แต่ละอนุภาคของของไหล เมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดหนึ่งจะมีความเร็วค่าหนึ่งทุกๆ อนุภาคของของไหลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดเดียวกัน จะมีความเร็วเท่ากัน ซึ่งเป็นความเร็ว ณ จุดนั้นๆ โดยความเร็วของอนุภาคของของไหล เมื่อไหลผ่านจุดต่างๆ กันจะเท่ากันหรือแตกต่างกันก็ได้

2. ของไหลมีการไหลโดยไม่หมุน คือ บริเวณโดยรอบจุดๆ หนึ่งในของไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆ

3. ของไหลมีการไหลโดยไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืดของของไหล หมายความว่า ไม่มีแรงต้านภายในเนื้อของของไหลกระทำต่ออนุภาคของของไหล

4. ของไหลไม่สามารถอัดตัวได้ หมายความว่า ของไหลปริมาตรคงตัว โดยแต่ละส่วนไม่ว่าจะไหลผ่านบริเวณใดยังคงมีความหนาแน่นคงเดิม

2. สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

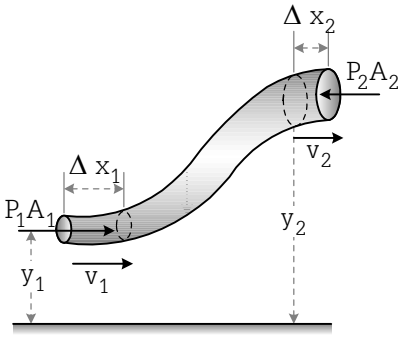
มวลของของไหลไม่สูญหายหรือสร้างเพิ่มใหม่ได้ (กฎการอนุรักษ์มวล) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

อัตราการไหลของมวลเข้า = อัตราการไหลของมวลออก

$$A_1v_1 = A_2v_2$$

- อัตราการไหลของมวลที่ผ่านพื้นที่ใดๆ จะมีค่าเท่ากัน
- สมการต่อเนื่องแสดงถึงการอนุรักษ์ของมวลในการไหลอย่างสม่ำเสมอ
- ผลคูณของพื้นที่หน้าตัดที่ของไหล ไหลผ่านกับอัตราเร็วของของไหลที่ไหลผ่านจะมีค่าคงที่ ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งใดในหลอดการไหล
- ค่าของ Av คือ อัตราปริมาตรการไหล (Volume Flow Rate หรือ Volume Flux) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)
- เมื่อระยะห่างระหว่างสายกระแสลดลง (พื้นที่เล็ก) จะทำให้อัตราเร็วของของไหลมากขึ้น และอัตราเร็วของของไหลจะลดลง เมื่อระยะห่างระหว่างสายกระแสเพิ่มขึ้น (พื้นที่ใหญ่)

3. หลักของแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle)



มีที่มาจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน ใช้ได้กับของไหลอุดมคติข้างต้น มีหน้าตาสมการ ดังนี้

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

หรือ

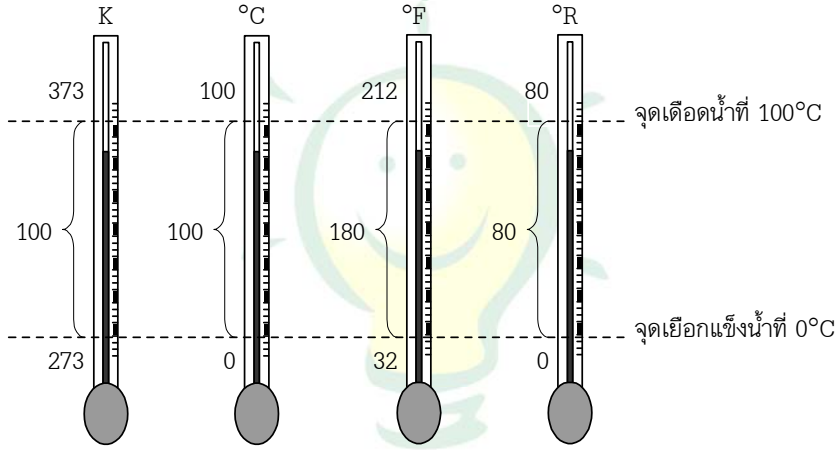
$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \text{ค่าคงที่}$$

อุณหพลศาสตร์

อุณหภูมิและความร้อน (Temperature & Heat)

1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ คือ มาตรในการวัดพลังงานภายในของระบบ ใช้บอกความรู้สึกร้อน-เย็นของสาร เป็นปริมาณสเกลาร์ ใช้สัญลักษณ์ T มีหน่วยในระบบ SI เป็นเคลวิน (Kevin ; K) และอุณหภูมิยังนิยมใช้หน่วยต่างๆ คือ องศาเซลเซียส (°C) องศาฟาเรนไฮต์ (°F) องศาโรเมอร์ (°R) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยเป็น



$$\frac{\text{ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ - จุดเยือกแข็งของน้ำ}}{\text{จุดเดือดของน้ำ - จุดเยือกแข็งของน้ำ}} = \frac{C-0}{100-0} = \frac{K-273}{373-273} = \frac{F-32}{212-32} = \frac{R-0}{80-0}$$

หรือ $$\boxed{\frac{C}{5} = \frac{K-273}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{R}{4}}$$

2. ความร้อน (Heat)

ความร้อน คือ การถ่ายเทของพลังงานระหว่างบริเวณสองบริเวณ ตัวของความร้อนเองจึงไม่ใช่พลังงาน เราใช้สัญลักษณ์ Q แทนความร้อน มีหน่วยในระบบ SI เป็น จูล (J)

ตอนแรก ของการศึกษาเรื่องความร้อน นักวิทยาศาสตร์คิดว่าความร้อนเป็นของไหลชนิดหนึ่ง ซึ่งจะไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และให้ของไหลนี้ว่า “แคลอริก (Caloric)” และมีหน่วยเป็น แคลอรี (Calory (cal))

ต่อมา จากการทดลองของจูล เราทราบว่าความร้อน 1 แคลอรี คือ การถ่ายเทพลังงานขนาด 4.185 J

การถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิระหว่างสองบริเวณ โดยความร้อนจะไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ

ผลของความร้อนที่มีต่อสสาร

ในที่นี้เราจะพิจารณาผลของความร้อนที่มีต่อสารในแง่อุณหภูมิและสถานะของสาร เมื่อสสารได้รับความร้อนจะเกิดผล ดังนี้

1. ขณะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง สถานะของสารจะไม่เปลี่ยนแปลง
2. ขณะสถานะของสารเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิจะไม่เปลี่ยนแปลง

การที่สสารมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสถานะ เกิดเนื่องจากสสารต่างๆ รับ/คายพลังงาน (ความร้อน) ออกจากตัวได้ โดยพลังงานเหล่านี้ใช้ในการทำลาย/สร้างพันธะ ความสามารถในการรับพลังงานความร้อนของสสารเราเรียกว่า **"ความจุ"** ซึ่งนักวิทยาศาสตร์นิยามปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับความสามารถในการรับปริมาณความร้อนของสสาร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสสารเนื่องจากความร้อนขึ้นมา ดังนี้

1. ความร้อนแฝง (Latent Heat : Q_L) คือ ความร้อนที่ทำให้วัตถุมวลทั้งก้อน (มวลเท่าใดก็ได้) สามารถเปลี่ยนสถานะได้ทั้งหมดโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยน ใช้สัญลักษณ์ Q_L แทน มีหน่วยเป็น J หรือ cal ยิ่งสสารมีมวลมาก ความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะยิ่งมากตาม กำหนดให้ L คือ ความร้อนแฝงจำเพาะ มีหน่วยเป็น J/kg หรือ cal/g เราสามารถเขียนค่าของ Q_L ได้ดังนี้

$$Q_L = mL$$

ปริมาณความร้อนแฝงจำเพาะของสารที่ควรรู้ และใช้บ่อยในการคำนวณ คือ

- ความร้อนแฝงจำเพาะของน้ำแข็ง $L_{\text{น้ำแข็ง}} = 80 \text{ cal/g} = 3.36 \times 10^5 \text{ J/kg}$
- ความร้อนแฝงจำเพาะของไอน้ำ $L_{\text{ไอน้ำ}} = 540 \text{ cal/g} = 22.68 \times 10^5 \text{ J/kg}$

2. ความจุความร้อน (Heat Capacity : C) คือ ความร้อนที่ทำให้วัตถุมวลทั้งก้อน (มวลเท่าใดก็ได้) สามารถเปลี่ยนอุณหภูมิไปหนึ่งหน่วย (ในหน่วย K หรือ C°) โดยสถานะไม่เปลี่ยน ใช้สัญลักษณ์ C แทนความจุความร้อน มีหน่วยเป็น J/K หรือ cal/C° จากนิยามเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

โดยที่ ΔT คือ อุณหภูมิของสสารที่เปลี่ยนไป

3. ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat : c)

เนื่องจากความร้อนที่ต้องถ่ายเทให้วัตถุเพื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ นักวิทยาศาสตร์จึงนิยามค่าความจุความร้อนจำเพาะขึ้น โดยใช้สัญลักษณ์แทนด้วย c มีหน่วยเป็น J/kg · K หรือ cal/g · C° ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของสสารแต่ไม่ขึ้นกับมวล

จากนิยาม $c = C/m$ เมื่อนำมารวมกับสมการ $C = \frac{Q}{\Delta T}$ จะได้

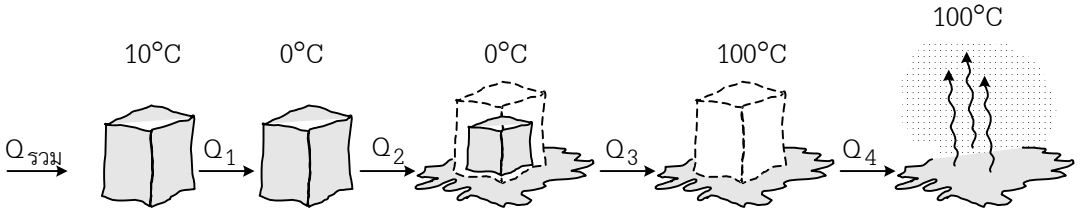
$$Q = mc\Delta T$$

สำหรับการคำนวณ เราจะกำหนดให้

$$Q\begin{cases} > 0 & \text{เมื่อความร้อนที่ไหลเข้าระบบ} \\ < 0 & \text{เมื่อความร้อนที่ไหลออกจากระบบ} \end{cases}$$

ตัวอย่าง การเปลี่ยนสภาพของสารเมื่อได้รับความร้อน

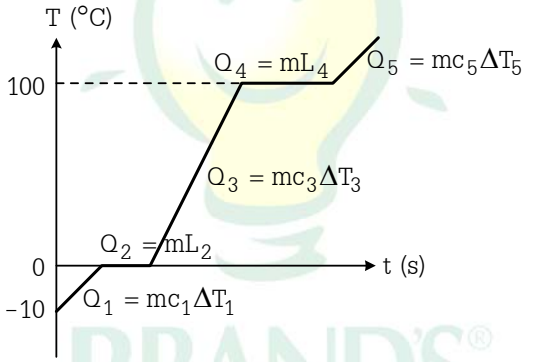
กำหนดให้น้ำแข็งมวล m อุณหภูมิ −10°C ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ น้ำแข็งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ดังนี้



ความร้อนทั้งหมดที่น้ำแข็งได้รับจนกระทั่งเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำที่ 100°C คำนวณได้จาก

$$\Sigma Q = mc_{น้ำแข็ง}\Delta T_1 + mL_{น้ำแข็ง} + mc_{น้ำ}\Delta T_2 + mL_{น้ำ}$$

สามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ T และช่วงเวลา t ได้ดังนี้



4. กฎของแก๊สในอุดมคติ (Ideal Gas Law)

แก๊สในอุดมคติมีสมบัติ ดังนี้

1. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่ตามกฎของนิวตัน แต่โดยเฉลี่ยแล้วพวกมันเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random Motion)
2. ในระบบมีจำนวนของโมเลกุลอยู่มากพอ และระยะห่างระหว่างโมเลกุลโดยเฉลี่ยมีค่ามากกว่าขนาดของโมเลกุลมากๆ ทำให้ปริมาตรของโมเลกุลทั้งหมดรวมกันมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับปริมาตรของภาชนะ
3. โมเลกุลทุกๆ ตัวมีรูปร่างหน้าตาเหมือนกันทุกประการ (Identical Particles)
4. ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุล **ยกเว้น**ระหว่างการชนกันเอง หรือชนกับผนังของภาชนะที่บรรจุเท่านั้น
5. การชนเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ (Perfect Elastic Collision) และเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ

ซึ่งแก๊สจะประพฤติตนตาม **กฎของแก๊สในอุดมคติ**

$$PV = Nk_BT = nRT$$

โดยมีค่าคงที่ของโบลซ์มาน $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K เป็นสัมประสิทธิ์การแปรผัน และ $R = k_BN_A = 8.31$ J/mol · K

5. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (Kinetic Theory of Gas)

หากแก๊สมีสมบัติของแก๊สในอุดมคติทุกข้อ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมหัพภาค ได้แก่ ความดัน กับปริมาณจุลภาค ได้แก่ อัตราเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลแก๊ส ดังนี้

$$P = \frac{1}{3}m\rho(v^2) = \frac{2}{3}\frac{N}{V}(K)$$

โดยที่ $\rho = \frac{N}{V}$ คือ จำนวนอนุภาคต่อปริมาตร ส่วนสัญลักษณ์ $(\cdot)$ แทนการเฉลี่ยกับอนุภาคทั้งหมดในภาชนะ สมการ $P = \frac{1}{3}m\rho(v^2) = \frac{2}{3}\frac{N}{V}(K)$ เอื้อในการคำนวณอัตราเร็วเฉลี่ยแบบรากกำลังสองของอนุภาค

$$v_{rms} \equiv \sqrt{(v^2)} = \sqrt{\frac{3P}{m\rho}}$$

6. กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ (First Law of Thermodynamics)

นักฟิสิกส์ในยุคก่อนขาดความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อน (Heat) กับพลังงานภายใน (Internal Energy) จึงมองข้ามการแก้ปัญหาเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ในแง่ของกลศาสตร์ ปัจจุบันเราทราบว่าพลังงานภายในของระบบมีต้นกำเนิดจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลในระดับจุลภาค อีกทั้งพลังงานภายในและความร้อนต่างเป็นพลังงานทั้งคู่ ดังนั้นระบบใดๆ ในอุณหพลศาสตร์ย่อมต้องมีการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy) ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงกฎการอนุรักษ์พลังงานที่จำเพาะสำหรับระบบทางความร้อน สมการดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

- ΔE_{int} การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในระบบ
- Q ความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้ $Q > 0$ เมื่อความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ระบบ
- W งานที่ให้แก่ระบบจากภายนอก โดยให้ $W > 0$ เป็นงานที่ระบบได้รับจากสิ่งแวดล้อมและในทางกลับกัน $W < 0$ คือ งานที่ระบบให้กับสิ่งแวดล้อม

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานสามารถกล่าวได้ว่า

$$\Delta E_{int} = Q + W$$

พลังงานของระบบจะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อ ระบบได้รับพลังงานในรูปของความร้อนและงานจากแรงภายนอก

คลื่น

คลื่น คือ การส่งผ่านการรบกวนระบบจากบริเวณหนึ่งไปสู่บริเวณอื่นๆ

ลักษณะของคลื่น

1. **ประเภทของคลื่น** (Types of Waves)

เราสามารถแบ่งคลื่นออกได้หลายลักษณะ ดังนี้

1. **แบ่งโดยอาศัยการส่งผ่านตัวกลางเป็นหลัก**

1.1 **คลื่นกล** (Machanical Wave) คือ คลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ปริมาณทางฟิสิกส์หรือต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นผิวน้ำ คลื่นในเส้นเชือก คลื่นเสียง เป็นต้น

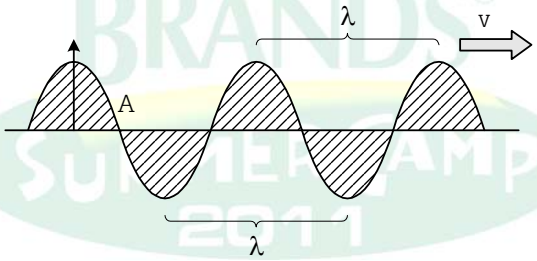
1.2 **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** (Electromagnetic Wave) คือ คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ปริมาณทางฟิสิกส์ หรือไม่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

2. **แบ่งโดยอาศัยลักษณะการสั่นของปริมาณทางฟิสิกส์เป็นหลัก**

2.1 **คลื่นตามยาว** (Longitudinal Wave) คือ คลื่นที่มีทิศการสั่นของอนุภาคตัวกลางอยู่ในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง คลื่นการสั่นของสปริง เป็นต้น

2.2 **คลื่นตามขวาง** (Transverse Wave) คือ คลื่นที่มีทิศการสั่นของอนุภาคอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก ฯลฯ และคลื่นตามขวางชนิดหนึ่งที่ไม่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่เราเรียกว่า **"คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า"** เช่น คลื่นแสง คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ ฯลฯ

2. **ส่วนประกอบของคลื่น**



จากรูป ส่วนประกอบของคลื่นมีดังนี้

1. **สันคลื่น** (Crest) คือ ส่วนบนสุดของคลื่น
2. **ท้องคลื่น** (Trough) คือ ส่วนต่ำสุดของคลื่น
3. **ความถี่** (Frequency) คือ จำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งหนึ่งๆ ไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ใช้สัญลักษณ์ f แทน มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz)

4. คาบ (Period) คือ ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งหนึ่งๆ ไปได้ครบหนึ่งลูกคลื่น ใช้สัญลักษณ์ T แทน มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ

จากนิยามของความถี่และคาบเวลาข้างต้น เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองเป็น

$$T = \frac{1}{f}$$

5. การกระจัด (Displacement) คือ ระยะที่อนุภาคตัวกลางคลื่นเคลื่อนที่ห่างจากแนวสมดุลเดิมก่อนที่จะเกิดคลื่น จากรูป คือ ระยะในแนวแกน y

6. แอมพลิจูด (Amplitude) คือ การกระจัดสูงสุด (มากที่สุด) ที่อนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ได้ห่างจากแนวสมดุลเดิม จากรูป คือ ระยะ A และตามปกติจะใช้สัญลักษณ์ A แทน

7. ความยาวคลื่น (Wave Length : λ) คือ ระยะระหว่างตำแหน่งบนคลื่นที่มีค่ามุมเฟสต่างกันเป็น $\Delta\phi = 2\pi$ เรเดียน (หรือ 360 องศา) เป็นปริมาณสเกลาร์ ใช้สัญลักษณ์ λ แทน มีหน่วยเป็นเมตร (m) แต่โดยทั่วไปเพื่อความสะดวกในการพิจารณา เราจะวัดระยะระหว่างสันคลื่นที่อยู่ถัดกัน หรือตำแหน่งท้องคลื่นที่อยู่ถัดกันเป็นระยะเท่ากับ 1 ความยาวคลื่น

8. ความเร็วคลื่น (Velocity of Wave, v) คือ การกระจัดที่คลื่นแผ่ผ่านตัวกลางไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลาหรือระยะการแผ่พลังงานของคลื่นไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์ ใช้สัญลักษณ์ v แทน มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

$$v = \frac{s}{t} = \lambda f$$

สมบัติของคลื่น

คลื่นมีสมบัติ ดังนี้

1. **การสะท้อน** (Reflection)
2. **การหักเห** (Refraction)
3. **การแทรกสอด** (Interference)
4. **การเลี้ยวเบน** (Diffraction)

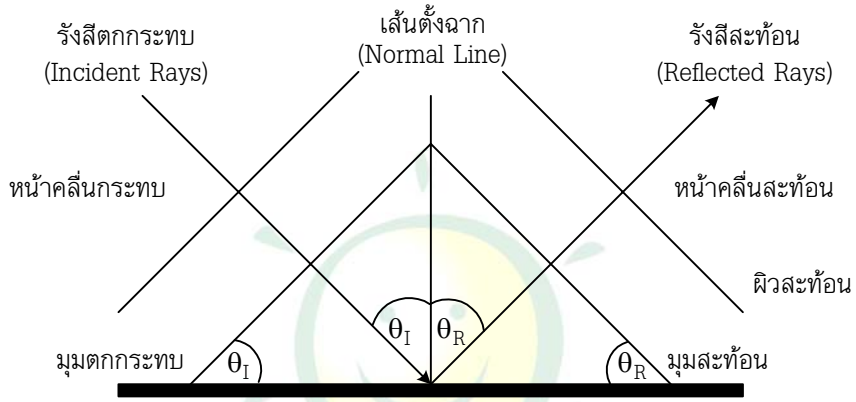
คุณสมบัติข้อที่ 1 และ 2 เป็นคุณสมบัติร่วมระหว่างคลื่นกับอนุภาค (อนุภาคสามารถสะท้อนและหักเหได้ด้วย) ส่วนสมบัติข้อที่ 3 และ 4 เป็นคลื่นโดยเฉพาะ

1. การสะท้อน (Reflection)

การสะท้อน เกิดจากคลื่นไม่สามารถแผ่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งได้ เช่น การสะท้อนของคลื่นน้ำกับตลิ่ง การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก การสะท้อนของคลื่นแสง การสะท้อนของคลื่นเสียง

กฎการสะท้อน มี 2 ข้อ คือ

1. มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน
2. รังสีตกกระทบ เส้นตั้งฉากและรังสีสะท้อนต้องอยู่บนระนาบเดียวกัน



2. การหักเห (Refraction)

การหักเห เกิดจากการที่คลื่นเคลื่อนที่เปลี่ยนตัวกลางที่มีคุณสมบัติของตัวกลางบางประการไม่เหมือนกัน ส่งผลให้คลื่นเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ และ (หรือ) เปลี่ยนอัตราเร็วคลื่น แต่ความถี่ยังคงเท่าเดิม

กฎของสเนลล์ (Snell's Law) เป็นกฎที่อธิบายการหักเหของคลื่น ระหว่างตัวกลางคู่หนึ่งๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

โดยตัวเลข 1 และ 2 แสดงถึงตัวกลางที่ 1 และ 2 มุม θ เป็นมุมระหว่างทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นและเส้นแนวฉากของระนาบระหว่างสองตัวกลาง (Normal Line)

3. การแทรกสอด (Interference)

การแทรกสอด เกิดขึ้นได้เมื่อคลื่น 2 ขบวนกำลังแผ่อยู่ในบริเวณเดียวกันเกิดการซ้อนทับกันของคลื่นจนได้คลื่นลัพธ์ออกมา ซึ่งขนาดของคลื่นลัพธ์หาได้จากผลบวกแบบพีชคณิตของขบวนคลื่นในแต่ละตำแหน่ง

4. การเลี้ยวเบน (Diffraction)

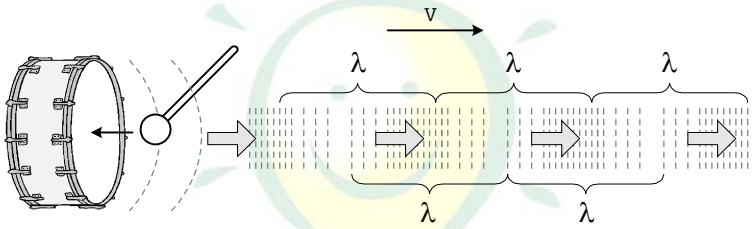
การเลี้ยวเบนของคลื่น เกิดขึ้นเนื่องจากมีสิ่งกีดขวางการแผ่ของคลื่น แล้วคลื่นสามารถแผ่อ้อมสิ่งกีดขวางนั้นไปได้ การเลี้ยวเบนของคลื่นจะมีความถี่คงที่ แต่ขนาดของลูกคลื่น (Amplitude) อาจเปลี่ยนแปลงไป

เสียง (Sound)

1. ธรรมชาติของเสียง

เสียงเป็นคลื่นกลที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ และเป็นคลื่นตามยาว เกิดเนื่องจากแหล่งกำเนิดเสียงถูกรบกวน (ได้รับพลังงานจากภายนอก) แล้วเกิดการสั่น จากนั้นพลังงานจากแหล่งกำเนิดเสียงจะแพร่กระจายในตัวกลางส่งผ่านไปรอบๆ แหล่งกำเนิดเสียงนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ในอากาศจะมีการส่งพลังงานให้กับโมเลกุลของอากาศ โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นเกิดการอัดและขยายตัวของโมเลกุลอากาศ เราเรียกช่วงอัดตัวกันของอากาศว่า **"ช่วงอัด (Compression)"** และเราเรียกช่วงที่มีการขยายตัวของอากาศว่า **"ช่วงขยาย (Expansion)"**

ตัวอย่าง กรณีการสั่นของหนังหน้ากลองที่ถูกตี แล้วเกิดการแผ่ของคลื่นเสียงออกไปแบบคลื่นตามยาว ดังรูป



2. อัตราเร็วของเสียง (Speed of Sound)

เสียงสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยอัตราเร็วเสียงในอากาศขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ หาได้จาก

- อัตราเร็วของเสียงในอากาศ คำนวณโดยประมาณได้จากสูตร

$$v_s = 331 + 0.6T$$

โดยที่ v_s (m/s) คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศขณะที่มีอุณหภูมิ T (°C)

จากสมการ จะได้ว่าคลื่นเสียงจะมีอัตราเร็วเปลี่ยนแปลงไป 0.6 m/s เมื่ออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงไป 1°C และสมการนี้สามารถใช้คำนวณได้ดีเมื่ออุณหภูมิของอากาศอยู่ในช่วง −40°C ถึง 40°C

- อัตราเร็วของคลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่น λ และความถี่ f มีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$v = \lambda f$$

- อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางเดียว (บริเวณเดียว) จะมีอัตราเร็วคงที่ ใช้สมการการเคลื่อนที่แบบไม่มีความเร่งตามปกติ

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

3. ปรากฏการณ์ทางเสียง

1. บีตส์ (Beats) เป็นปรากฏการณ์การรวมกันของคลื่นเสียง 2 ขบวนที่มีความถี่ใกล้เคียงกัน คลื่นเสียงทั้ง 2 ขบวนอาจจะมีแอมพลิจูลเท่ากันหรือไม่ก็ได้ เคลื่อนที่ในตัวกลางเดียวกัน เมื่อแทรกสอดกันปรากฏว่าเกิดคลื่นเสียงลัพธ์ที่มีแอมพลิจูลไม่คงที่ แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เราได้ยินเสียงดัง-เบา เป็นจังหวะสลับกันไป และจำนวนครั้งของการได้ยินเสียงดัง หรือจำนวนครั้งของการได้ยินเสียงค่อย เนื่องจากคลื่นเสียงลัพธ์ในช่วงเวลา 1 วินาที เราเรียกว่า **"ความถี่บีตส์"** (Beats Frequency : f_B)

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

และความถี่บีตส์เสียงเป็น

$$f_B = |f_1 - f_2|$$

โดยส่วนมากหากจำนวนความถี่ในการได้ยินเกิน 7 ครั้งต่อวินาที หูมนุษย์มักจะแยกไม่ออกและรู้สึกได้ยินเป็นเสียงที่มีความถี่ต่ำแทน

2. ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler Effect) เป็นปรากฏการณ์ที่ผู้สังเกตเสียงได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ของเสียงเดิม เนื่องจากการเคลื่อนที่ของผู้สังเกตเสียงสัมพัทธ์กับแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงแหลม-ทุ้ม มากกว่าปกติความเป็นจริงที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงเอง ซึ่งจะได้สมการการคำนวณ ดังนี้

$$f_0 = \left(\frac{v + v_0}{v - v_s}\right) \cdot f_s$$

โดยที่

f_0 คือ ความถี่เสียงปรากฏต่อผู้สังเกต (Observer) (Hz)

f_S คือ ความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง (Source) (Hz)

v คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ (m/s)

v_0 คือ อัตราเร็วของผู้สังเกตเสียง (m/s)

v_S คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (m/s)

หมายเหตุ การแทนค่าเครื่องหมายในสมการ $f_0 = \left(\frac{v + v_0}{v - v_s}\right) \cdot f_s$

- ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง v_0 มีค่าเป็นบวก (+)
- ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง v_0 มีค่าเป็นลบ (-)
- ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต v_s มีค่าเป็นบวก (+)
- ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต v_s มีค่าเป็นลบ (-)

3. ความเข้มเสียง (Intensity) คือ พลังงานเสียงที่ตกกระทบต่อพื้นที่ตั้งฉาก 1 ตารางหน่วย (ซึ่งเป็นพื้นที่ที่รับพลังงานเสียง) ในเวลา 1 วินาที เป็นปริมาณสเกลาร์ ใช้สัญลักษณ์ I แทน มีหน่วยเป็น $J/m^2 \cdot s$ หรือ $Watt/m^2$ ในที่นี้เราพิจารณาได้จากคลื่นเสียง 3 มิติ

สมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มเสียง ($Watt/m^2$)

P คือ กำลังของเสียงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด (Watt)

A คือ พื้นที่ที่รับพลังงานเสียง (m^2)

R คือ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง (m)

หมายเหตุ

- ความเข้มเสียงต่ำสุดที่หูมนุษย์สามารถได้ยิน คือ $I_0 = 10^{-12}$ $Watt/m^2$
- ความเข้มเสียงสูงสุดที่หูมนุษย์สามารถทนฟังได้ คือ $I_{max} = 1$ $Watt/m^2$

4. ระดับความเข้มเสียง คือ ระดับที่บอกให้ทราบถึงความดังของเสียงซึ่งได้จากสมการ

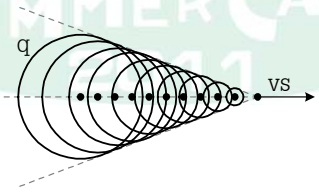
$$\beta = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

เมื่อ β คือ ระดับความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งที่พิจารณา (เดซิเบล dB)

I คือ ความเข้มเสียงขณะใดขณะหนึ่ง ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ($Watt/m^2$)

I_0 คือ ความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยินได้ = 10^{-12} $Watt/m^2$

5. คลื่นกระแทก เป็นปรากฏการณ์ทางเสียง เกิดเมื่อแหล่งกำเนิดเสียง มีอัตราเร็วมากกว่าเสียง (ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้น)



แสง (Light)

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีสมบัติของคลื่น คือ สะท้อน หักเห แทรกสอด และเลี้ยวเบน

1. **การสะท้อนแสงบนระนาบต่างๆ** เกิดขึ้นเมื่อแสงกระทบตัวกั้นแล้วเคลื่อนที่ย้อนกลับสู่ตัวกลางเดิม
   - **กฎการสะท้อน**
     - รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน
     - มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน
   - ภาพเกิดจากรังสีสะท้อนตัดกัน ถ้าตัดจริงเกิดภาพจริง ถ้าเสมือนตัดกันเกิดภาพเสมือน
   - ภาพจากกระจกเงาราบ
     - เป็นภาพเสมือนเสมอ
     - ระยะภาพ = ระยะวัตถุ
     - กำลังขยายเป็น 1
   - ภาพจากกระจกเว้า เป็นได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน
   - ภาพจากกระจกนูน เป็นภาพเสมือนขนาดเล็กกว่าวัตถุ
   - ความสัมพันธ์ระหว่างจุดโฟกัส (f) ระยะวัตถุ (s) และระยะภาพ (s′)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

   โดยที่ระยะโฟกัสเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้งของกระจก $f = \frac{R}{2}$

   กฎการใช้เครื่องหมาย
   - f กระจกเว้า (+), กระจกนูน (−)
   - s ระยะวัตถุจริง (+), วัตถุเสมือน (ใช้ภาพจากกระจกอื่นมาเป็นวัตถุ) (−)
   - s′ ระยะภาพจริง (เกิดหน้ากระจก) (+), ระยะภาพเสมือน (เกิดหลังกระจก) (−)
   - กำลังขยายหาได้จาก

$$M = \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

   หรือเขียนได้อีกอย่างว่า

$$M = \frac{f}{s - f} = \frac{s' - f}{f}$$

2. **การหักเห** เกิดเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่าน 2 ตัวกลาง แล้วมีอัตราเร็วเปลี่ยนไป
   - มุมในการหักเหคำนวณจาก **กฎของสเนลล์ (Snell's Law)**

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

- ดรรชนีหักเหของตัวกลางใดๆ เป็นค่าที่บอกให้รู้ว่าอัตราเร็วแสงในสุญญากาศเป็นกี่เท่าของอัตราเร็วแสงในตัวกลางนั้น ตัวกลางใดที่มีค่า n มาก อัตราเร็วแสงในตัวกลางนั้นจะมีค่าน้อย
- การสะท้อนกลับหมด เกิดเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่อัตราเร็วของแสงน้อยไปยังตัวกลางที่อัตราเร็วแสงมาก โดยมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤต (θ_c)

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

- การกระจายแสง เกิดขึ้นเพราะอัตราเร็วของแสงในตัวกลางต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน แสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหได้มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นมาก
- เลนส์มี 2 แบบ คือ เลนส์นูน (รวมแสง) เลนส์เว้า (กระจายแสง)
- ภาพจากเลนส์เกิดจากรังสีหักเหตัดกัน ตัดกันจริงเกิดภาพจริง เสมือนตัดกันเกิดภาพเสมือน
- ภาพจากเลนส์นูน เป็นภาพจริง (ขนาดใหญ่ เล็ก เท่าวัตถุ) และภาพเสมือนขนาดใหญ่
- ภาพจากเลนส์เว้า เป็นภาพเสมือนขนาดเล็กกว่าวัตถุ (ถ้ามีเลนส์เว้าชิ้นเดียว)
- ภาพจากเลนส์เว้าและกระจกนูน สามารถเป็นภาพจริงได้ ถ้ามีอุปกรณ์ทางแสงชิ้นอื่นที่ทำให้แสงที่ตกกระทบทั้งเลนส์เว้าและกระจกนูนเป็นแสงลู่เข้าแล้วตัดกันก่อนจุดโฟกัสของทั้งเลนส์เว้าและกระจกนูน
- ความสัมพันธ์ระหว่าง f, s และ s′

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

กฎการใช้เครื่องหมาย

- f กระจกนูน (+), เลนส์เว้า (−)
- s ระยะวัตถุจริง (+), วัตถุเสมือน (ใช้ภาพจากกระจกอื่นมาเป็นวัตถุ) (−)
- s′ ระยะภาพจริง (เกิดหลังเลนส์) (+), ระยะภาพเสมือน (เกิดหน้าเลนส์) (−)

- กำลังขยายหาได้จาก

$$M = \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y} = \frac{f}{s - f} = \frac{s' - f}{f}$$

- ความลึกปรากฏหาได้จาก

$$\frac{n_{ตา}}{n_{วัตถุ}} = \frac{h' \cos \theta_{วัตถุ}}{h \cos \theta_{ตา}}$$

หากมองในแนวดิ่ง $\cos \theta_{วัตถุ} = \cos \theta_{ตา} = 1$ ดังนั้น

$$\frac{n_{ตา}}{n_{วัตถุ}} = \frac{h'}{h}$$

3. การแทรกสอด เมื่อแสงผ่านช่องคู่หรือเกรตติงจะแทรกสอดเกิดคลื่นนิ่ง ทำให้เกิดแถบมืดแถบสว่างที่ระยะ x ซึ่งนับจากจุดกึ่งกลางของฉาก ที่อยู่ระยะ L จากช่องคู่หรือเกรตติง

- **เงื่อนไขแถบสว่าง (ปฏิบัพ : Antinodes)**

$$d \sin\theta = n\lambda$$

$$d\frac{x}{L} = n\lambda \quad \text{โดยที่ } n = 1, 2, \ldots \qquad \ldots(1)$$

- **เงื่อนไขแถบมืด (บัพ : Nodes)**

$$d \sin\theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$d\frac{x}{L} = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{โดยที่ } n = 1, 2, 3, \ldots \qquad \ldots(2)$$

- ระยะระหว่างเส้นของเกรตติงหาได้จาก

$$d = \frac{\text{ความยาวของเกรตติง}}{\text{จำนวนเส้น}}$$

และเงื่อนไขแถบมืดและแถบสว่างยังคงเป็นไปตามสมการ (1) และ (2)

- เมื่อแสงขาวผ่านช่องคู่หรือเกรตติงจะแยกเป็น Spectrum โดยตรงกลางเป็นแสงขาว
- เมื่อแสง 2 ความยาวคลื่น λ_1 และ λ_2 ผ่านช่องคู่หรือเกรตติงแล้วเกิดการซ้อนทับของแถบสว่างที่ลำดับ n_1 และ n_2 จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$$

4. การเลี้ยวเบน เกิดเมื่อแสงผ่านช่องเดียว โดยเมื่อความกว้างของช่อง (d) มากกว่าความยาวคลื่น (λ) แต่ละจุดบนช่องเดี่ยวจะทำหน้าที่เหมือนแหล่งกำเนิดของคลื่นทรงกลม (ตามกฎของฮอยเกนส์) และแทรกสอดกันในบริเวณต่างๆ เกิดเป็นแถบมืดและแถบสว่างบนฉากที่ตำแหน่ง x โดยฉากอยู่ห่างจากช่องเดี่ยวเป็นระยะ L

เงื่อนไขของ**แถบมืด** เป็นไปตามสมการ

$$d \sin\theta = n\lambda$$

$$d\frac{x}{L} = n\lambda \quad \text{โดยที่ } n = 1, 2, 3, \ldots$$

5. เปรียบเทียบลวดลายการแทรกสอดจากช่องคู่และช่องเดี่ยว

- ความกว้างของแถบสว่างหาได้จากระยะระหว่างแถบมืด-มืด (Node-Node)
  - ช่องคู่ทุกแถบกว้างเท่ากัน คือ $\frac{\lambda L}{d}$
  - ช่องเดี่ยวแถบสว่างกว้าง $\frac{2\lambda L}{d}$ ส่วนของแถบอื่นๆ กว้าง $\frac{\lambda L}{d}$
- ความกว้างของแถบมืดหาได้จากระยะระหว่างแถบสว่าง-สว่าง (Antinode- Antinode)
  - ช่องคู่ทุกแถบกว้างเท่ากัน คือ $\frac{\lambda L}{d}$
  - ช่องเดี่ยวทุกแถบกว้าง $\frac{\lambda L}{d}$ **ยกเว้น**ระยะระหว่าง A_0 ถึง A_1 ที่กว้าง $\frac{3\lambda L}{d}$

รวมข้อสอบที่เกี่ยวข้องจาก PAT'52

$g = 9.8\ m/s^2$

$h = 6.6 \times 10^{-34}\ J \cdot s$

$c = 3 \times 10^8\ m/s$

$R = 8.31\ J/mol \cdot K$

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}\ J/K$

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$ อนุภาค

1. ชายคนหนึ่งขับรถบนทางตรงด้วยอัตราเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นระยะทาง 10 กิโลเมตร แล้วขับต่อด้วยอัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นระยะทางอีก 10 กิโลเมตร และด้วยอัตราเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นระยะทางอีก 10 กิโลเมตร อัตราเร็วเฉลี่ยของรถคันนี้เป็นเท่าใด

1) 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
2) มากกว่า 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
*3) น้อยกว่า 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
4) ข้อมูลไม่เพียงพอ

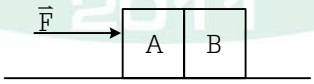
2. รถยนต์คันหนึ่งเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_0 แล้วเบรกโดยมีระยะเบรกเท่ากับ x_0 ถ้ารถคันนี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็น 2 เท่าของความเร็วเดิม จะมีระยะเบรกเป็นเท่าใด (กำหนดให้เหยียบเบรกด้วยแรงเท่ากันทั้งสองครั้ง)

1) $\frac{x_0}{4}$
2) $\frac{x_0}{2}$
3) $2x_0$
*4) $4x_0$

3. ชายคนหนึ่งปล่อยก้อนหินจากหน้าผาแห่งหนึ่ง เมื่อก้อนหินก้อนแรกตกลงไปเป็นระยะทาง 2 เมตร เขาก็ปล่อยก้อนหินอีกก้อนหนึ่งที่มีมวลเท่ากันทันที ถ้าไม่คิดแรงต้านของอากาศ ข้อใด**ถูกต้อง**

1) ก้อนหินทั้งสองก้อนอยู่ห่างกัน 2 เมตรตลอดเวลาที่ตก
*2) ก้อนหินทั้งสองก้อนอยู่ห่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ
3) ก้อนหินก้อนที่สองตกถึงพื้นหลังก้อนแรก 0.4 วินาที
4) ก้อนหินก้อนแรกตกถึงพื้นด้วยความเร็วที่มากกว่าก้อนที่สอง

4. ออกแรง $\vec{F}$ ขนานกับพื้นราบลื่นกระทำกับกล่อง A และ B ที่วางติดกัน ดังรูป



ข้อใด**ถูกต้อง**

1) ถ้า $m_A > m_B$ แรงที่กล่อง A กระทำกับกล่อง B มีขนาดมากกว่าแรงที่กล่อง B กระทำกับกล่อง A
2) ถ้า $m_A > m_B$ แรงที่กล่อง A กระทำกับกล่อง B มีขนาดน้อยกว่าแรงที่กล่อง B กระทำกับกล่อง A
*3) แรงที่กล่อง A กระทำกับกล่อง B มีขนาดเท่ากับแรงที่กล่อง B กระทำกับกล่อง A โดยไม่ขึ้นกับมวลของกล่องทั้งสอง
4) แรงลัพธ์ที่กระทำกับกล่อง A มีขนาดเท่ากับแรงลัพธ์ที่กระทำกับกล่อง B

5. วางกล่องใบหนึ่งบนรถกระบะ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล่องกับพื้นกระบะเท่ากับ 0.45 ความเร่งสูงสุดของรถกระบะที่**ไม่**ทำให้กล่องไถลไปบนพื้นกระบะมีค่าเท่าใด

1) 0.046 m/s^2 2) 0.45 m/s^2 *3) 4.4 m/s^2 4) 44 m/s^2

6. ชายคนหนึ่งมีมวล 80 กิโลกรัม ขับรถไปตามถนนด้วยอัตราเร็วคงที่ 15 เมตรต่อวินาที ถ้าพื้นถนนมีหลุมที่มีรัศมีความโค้งเท่ากับ 60 เมตร แรงที่เบาะนั่งกระทำกับชายคนนี้ ณ ตำแหน่ง**ต่ำสุด**ของหลุมเป็นเท่าใด

1) 300 N 2) 484 N 3) 784 N *4) 1084 N

7. ถ้างานที่ใช้เร่งวัตถุจากหยุดนิ่งให้มีอัตราเร็ว v เท่ากับ W งานที่ต้องใช้ในการเร่งวัตถุจากอัตราเร็ว v ไปสู่อัตราเร็ว 2v เท่ากับเท่าใด

1) W 2) 2W *3) 3W 4) 4W

8. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

ก. งานที่เกิดจากแรงกระทำในทิศตั้งฉากกับความเร็วของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์เสมอ

ข. เครื่องยนต์ที่ทำงานได้ 4 จูล ในเวลา 5 วินาที มีกำลังมากกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานได้ 5 จูลในเวลา 10 วินาที

ค. เครื่องยนต์ A มีกำลังมากกว่าเครื่องยนต์ B เป็น 2 เท่า แสดงว่าเครื่องยนต์ A ทำงานได้เป็น 2 เท่าของเครื่องยนต์ B

มีข้อความที่**ถูกต้อง**กี่ข้อความ

1) 1 ข้อความ *2) 2 ข้อความ 3) 3 ข้อความ 4) ไม่มีข้อความใดถูกต้อง

9. วัตถุก้อนหนึ่งวางอยู่บนพื้นราบ เมื่อแตกออกเป็น 2 ก้อน โดยก้อนหนึ่งมีพลังงานจลน์เป็น 2 เท่าของอีกก้อนหนึ่ง ก้อนที่มีพลังงานจลน์**มากกว่า**มีมวลเป็นกี่เท่าของก้อนที่มีพลังงานจลน์**น้อยกว่า**

1) $\frac{1}{4}$ *2) $\frac{1}{2}$ 3) 2 4) 4

10. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

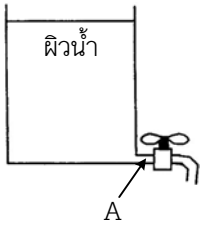
ก. ทรงกลมตันและทรงกลมกลวงที่มีมวลเท่ากัน มีรัศมีเท่ากัน กลิ้งโดยไม่ไถลด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ทรงกลมตันจะมีพลังงานจลน์มากกว่าทรงกลมกลวง

ข. เมื่อผูกเชือกแขวนค้อนให้สมดุลในแนวระดับได้ แสดงว่าตำแหน่งที่ผูกเชือกนั้นเป็นตำแหน่งที่มวลด้านซ้ายเท่ากับมวลด้านขวา

ค. ทุกตำแหน่งบนวัตถุหมุนมีอัตราเร็วเชิงมุมเท่ากัน

มีข้อความที่**ถูกต้อง**กี่ข้อความ

1) 1 ข้อความ 2) 2 ข้อความ 3) 3 ข้อความ *4) ไม่มีข้อความใดถูกต้อง

11. 

ถังใส่น้ำมีท่อขนาดเล็ก ต่อกับวาล์วที่ปิดไว้ ดังรูป ถ้าไม่คิดถึงความหนืดของน้ำ เมื่อเปิดวาล์ว ความดันสัมบูรณ์ที่จุด A จะเป็นดังข้อใด

1) เพิ่มขึ้น
2) คงเดิม โดยมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศ
3) คงเดิม โดยมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ
*4) ลดลง

12. ข้อใดคือพลังงานจลน์ของแก๊สฮีเลียมในถังปิดปริมาตร 10 ลูกบาศก์เมตรที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน เมื่อแก๊สมีความดันเกจเท่ากับ 3×10^5 ปาสกาล กำหนดให้ความดัน 1 บรรยากาศเท่ากับ 10^5 ปาสกาล

1) 3.0×10^6 จูล 2) 4.0×10^6 จูล 3) 4.5×10^6 จูล *4) 6.0×10^6 จูล

13. ถ้าเปรียบเทียบความร้อนกับกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิจะเทียบได้กับปริมาณใด

1) ความต้านทานไฟฟ้า *2) ศักย์ไฟฟ้า 3) กำลังไฟฟ้า 4) พลังงานไฟฟ้า

14. การแทรกสอดของคลื่นบนผิวน้ำจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่ง ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง พิจารณากรณีต่อไปนี้

ก. สันคลื่นซ้อนทับสันคลื่น

ข. สันคลื่นซ้อนทับท้องคลื่น

ค. ท้องคลื่นซ้อนทับท้องคลื่น

การซ้อนทับกันกรณีใดทำให้เกิดจุดบัพ

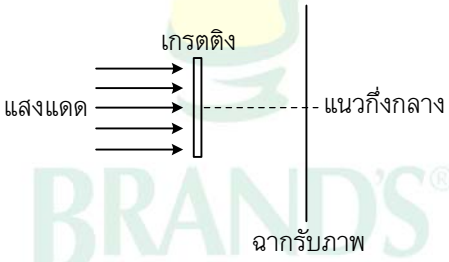
1) ก. และ ค. *2) ข. 3) ข. และ ค. 4) ค.

15. เมื่อเสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียงที่หยุดนิ่งผ่านตัวกลางหนึ่งเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง ปริมาณใดของเสียงที่**ไม่**เปลี่ยนแปลง

*1) ความถี่ 2) ความยาวคลื่น

3) อัตราเร็วคลื่น 4) ไม่มีปริมาณใดที่ไม่เปลี่ยนแปลง

16. เมื่อแสงแดดผ่านแผ่นเกรตติง ภาพที่ปรากฏบนฉากรับภาพจะเป็นอย่างไร



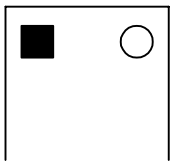
1)

2)

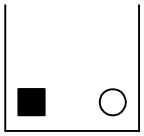
*3)

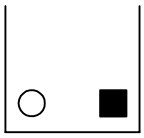
4)

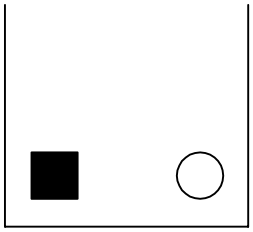
17. มองยอดตึกสูงที่อยู่ไกลออกไป 100 เมตรผ่านเลนส์นูนความยาวโฟกัส 0.15 เมตร และให้เลนส์อยู่ห่างจากตา 0.60 เมตร ถ้าภาพยอดตึกเมื่อมองด้วยตาเปล่าเป็นดังนี้

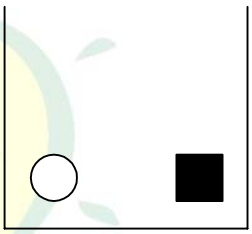


ภาพยอดตึกที่เห็นผ่านเลนส์จะเป็นดังข้อใด

1) 

*2) 

3) 

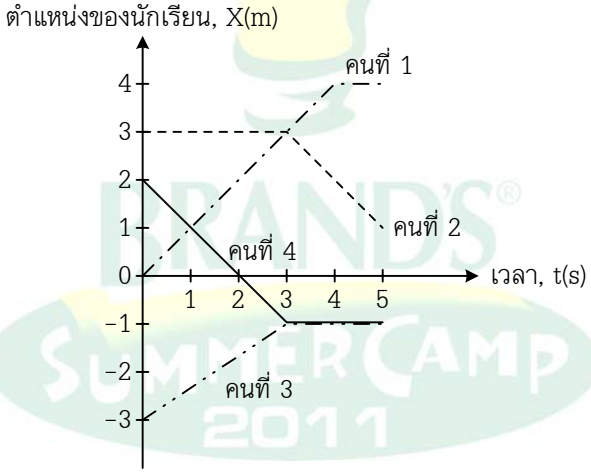
4) 

BRAND'S® SUMMER CAMP 2011

รวมข้อสอบที่เกี่ยวข้องจาก PAT'53

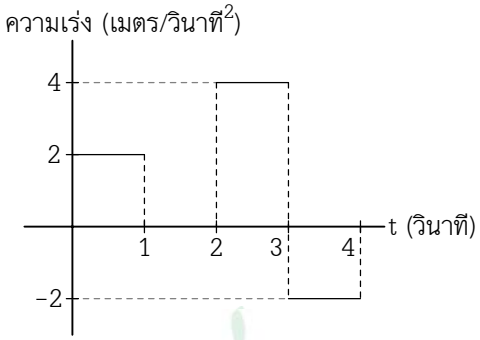
g	=	$9.8\ m/s^2$	e	=	$1.6 \times 10^{-19}\ C$
h	=	$6.6 \times 10^{-34}\ J \cdot s$	G	=	$6.67 \times 10^{-11}\ m^3/(kg \cdot s^2)$
c	=	$3.0 \times 10^{8}\ m/s$	π	=	3.14
k_B	=	$1.38 \times 10^{-23}\ J/K$			
R	=	$8.31\ J/(mol \cdot K)$			
N_A	=	6.02×10^{23} อนุภาค			
$\sqrt{2}$	=	1.414			
$\sqrt{3}$	=	1.732			
$\sqrt{5}$	=	2.236			
$\sqrt{7}$	=	2.646			
ln 2	=	0.693			

1. กราฟแสดงตำแหน่งของนักเรียน 4 คน เป็นดังรูป ในช่วงเวลา 5 วินาที นักเรียนคนใดบ้างที่มีการกระจัดเท่ากัน



1) คนที่ 1 และคนที่ 2
2) คนที่ 2 และคนที่ 3
3) คนที่ 3 และคนที่ 4
*4) ไม่มีข้อใดถูก

2. วัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร่งตามกราฟ โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่จากความเร็วต้น 20 เมตร/วินาที ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลา 4 วินาที เป็นกี่เมตร

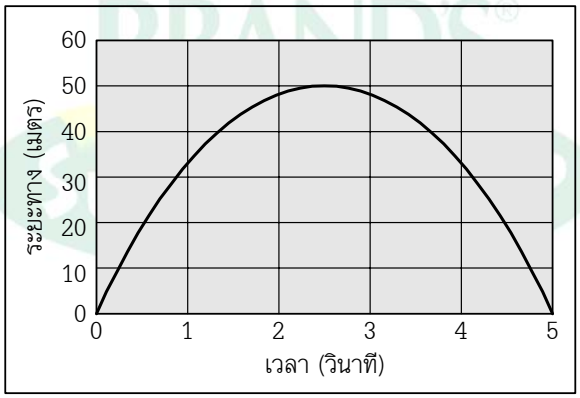


1) 47 2) 69 *3) 92 4) 94

3. วัตถุ 2 ก้อน มีมวลไม่เท่ากัน โดยที่มวลก้อนที่ 1 มีขนาดเป็นสองเท่าของมวลก้อนที่ 2 ถ้าปล่อยวัตถุทั้งสองให้ตกอย่างเสรีจากตึกสูง 50 เมตร ข้อใดกล่าว**ถูกต้อง**

1) วัตถุทั้งสองก้อนมีความเร่งไม่เท่ากัน
*2) วัตถุทั้งสองก้อนใช้เวลาตกถึงพื้นเท่ากัน
3) วัตถุก้อนที่ 1 กระทบพื้นด้วยขนาดความเร็วมากกว่าวัตถุก้อนที่ 2
4) มีคำตอบถูกมากกว่า 1 ข้อ

4. โยนลูกบอลขึ้นไปในแนวดิ่งบนดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสูงลูกบอลในแนวดิ่งจากพื้นกับเวลา เป็นดังรูป ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของดาวดวงนี้มีค่ากี่เมตร/วินาที^{2}



1) 5.3 2) 10 *3) 16 4) 20

5. ระเบิดลูกหนึ่งเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile Motion) เมื่อเคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุดระเบิดออกเป็นมวล 3 ก้อนที่เท่ากัน ถ้าทันทีที่ระเบิดมีมวลสองก้อนเคลื่อนที่ในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ข้อใดต่อไปนี้สรุปได้**ถูกต้อง**เกี่ยวกับมวลก้อนที่สาม (ทันทีที่ระเบิด)

1) มีขนาดความเร็วเป็น 3 เท่าของขนาดความเร็วของลูกระเบิด ณ จุดสูงสุดก่อนการระเบิด
2) มีพลังงานจลน์เป็น 3 เท่าของพลังงานจลน์ของลูกระเบิด ณ จุดสูงสุดก่อนการระเบิด
3) มีขนาดโมเมนตัมเป็น 3 เท่าของขนาดโมเมนตัมของลูกระเบิด ณ จุดสูงสุดก่อนการระเบิด
*4) มีคำตอบถูกมากกว่า 1 ข้อ

6. ชาย 2 คน มวล 50 กิโลกรัม และ 100 กิโลกรัม ยืนอยู่บนลานน้ำแข็งราบและลื่นจับปลายเชือกเบายาว 9 เมตร คนละด้าน เมื่อชายมวล 100 กิโลกรัม ดึงเชือกเข้าหาตัวเองเขาจะเลื่อนไปชนกัน ณ ตำแหน่งที่ห่างจากตำแหน่งเดิมของเขาเป็นระยะกี่เมตร

*1) 3 2) 4 3) 5 4) 6

7. ของเหลว A มีความหนาแน่นเป็น 1.2 เท่าของ B เมื่อนำวัตถุหนึ่งหย่อนลงในของเหลว B ปรากฏว่ามีปริมาตรส่วนที่จมลงเป็น 0.6 เท่าของปริมาตรทั้งหมด ถ้านำวัตถุนี้หย่อนลงในของเหลว A ปริมาตรส่วนที่จมลงในของเหลว A เป็นสัดส่วนเท่าใดของปริมาตรทั้งหมด

1) 0.4 *2) 0.5 3) 0.6 4) 0.8

8. น้ำไหลผ่านท่อทรงกระบอก 2 อัน รัศมี r และ R ด้วยอัตราการไหลเท่ากัน ถ้าอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อรัศมี r เท่ากับ v อัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อรัศมี R เป็นเท่าใด

1) $\frac{rv}{R}$ 2) $\frac{Rv}{r}$ 3) $\frac{R^2v}{r^2}$ *4) $\frac{r^2v}{R^2}$

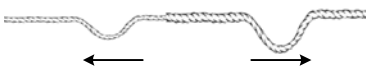
9. บอลลูนบรรจุแก๊สไฮโดรเจนจำนวน n โมล ที่ความดัน P และปริมาตร V พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊สเป็นเท่าใด

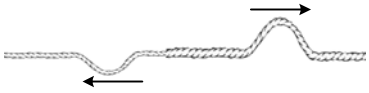
1) $\frac{1}{2}PV$ 2) $\frac{3}{2}PV$ 3) $\frac{3}{2}\frac{PV}{n}$ *4) $\frac{3}{2}\frac{PV}{nN_A}$

10. นำเชือกสองเส้นที่มีขนาดต่างกันมาต่อกัน โดยเส้นเล็กมีน้ำหนักเบากว่าเส้นใหญ่ ทำให้เกิดคลื่นดลในเชือกเส้นเล็ก ดังรูป

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปถึงรอยต่อของเชือกทำให้เกิดการสะท้อน และการส่งผ่านของคลื่น ลักษณะของคลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่านในเส้นเชือกควรเป็นอย่างไร

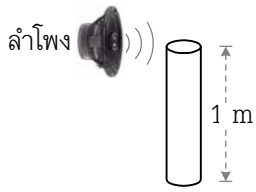
1)

2) 

*3) 

4)

11. วางแหล่งกำเนิดเสียงไว้ใกล้กับท่อปลายปิด 1 ด้าน ยาว 1 เมตร ดังรูป เมื่อปรับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงเพื่อให้ได้ยินเสียงดังที่สุด ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 340 เมตร/วินาที เสียงจะ**ดังที่สุด**ที่ความถี่กี่เฮิรตซ์



1) 80 *2) 255 3) 420 4) 695

12. การทดลองวัดความยาวคลื่นแสงด้วยสลิตคู่ที่มีระยะระหว่างสลิต 2×10^{-4} เมตร เกิดแถบสว่างบนฉากที่วางอยู่ห่างจากสลิต 80 เซนติเมตร โดยตำแหน่งของแถบสว่างลำดับที่ 2 อยู่ห่างจากกึ่งกลางฉาก 4.0 มิลลิเมตร ความยาวคลื่นแสงที่ทดลองมีค่ากี่นาโนเมตร

1) 400 *2) 500 3) 600 4) 700

BRAND'S® SUMMER CAMP 2011

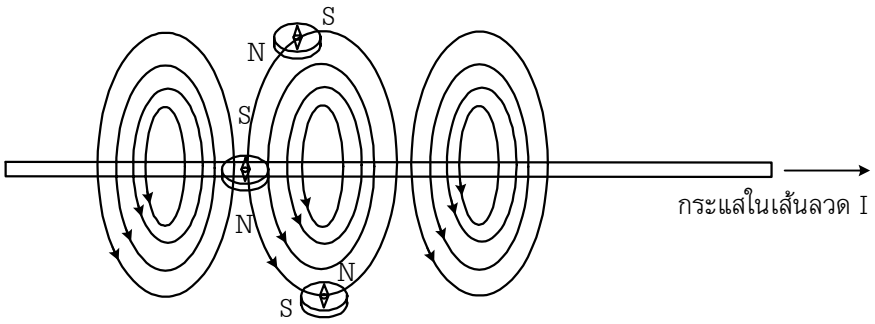
แม่เหล็กไฟฟ้า

แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำ หมายความว่า ถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำนั้น

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

การค้นพบแม่เหล็กไฟฟ้า

ปี ค.ศ. 1820 ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ศาสตราจารย์ทางปรัชญาธรรมชาติในกรุงโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็กในตอนท้ายของชั่วโมงการบรรยายวิชาไฟฟ้าและแม่เหล็ก เขาวางเข็มทิศไว้ใกล้เส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า ปรากฏว่าเข็มทิศชี้ไปทิศทางใหม่ เมื่อเอาเข็มทิศเข้าไปใกล้เส้นลวดจะมีทอร์กกระทำต่อเข็มทิศมากขึ้น เขาพบว่าสนามแม่เหล็กมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลนั่นเอง ดังนั้นเขาจึงเริ่มหาเส้นแรงแม่เหล็ก พบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเป็นวงกลมรอบเส้นลวดที่มีกระแสไหล



รูปแสดงการค้นพบของเออร์สเตดว่ากระแสที่ไหลในขดลวดมีแรงกระทำต่อแม่เหล็ก หรืออธิบายใหม่ได้ว่า ประจุที่เคลื่อนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

นักวิทยาศาสตร์อื่นๆ ในประเทศฝรั่งเศส เช่น ไบออด ซาเวิร์ต และแอมแปร์ ได้ศึกษารายละเอียดลึกลงไปในสิ่งที่ออร์สเตดค้นพบ และเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแม่เหล็กออกมาในรูปของคณิตศาสตร์

เนื้อหาที่เออร์สเตดค้นพบ สามารถสรุปเป็นข้อๆ ดังนี้

1. ประจุที่เคลื่อนที่ หรือกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเมื่อวางแม่เหล็กไว้ใกล้ๆ เส้นลวดที่มีกระแสไหลจะเกิดแรงกระทำต่อแม่เหล็ก

2. สนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงกระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่นั่นคือ ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่จะมีทั้งสร้างสนามแม่เหล็กและมีแรงมากระทำเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก

3. กระแสที่ไหลในที่แห่งหนึ่งจะก่อให้เกิดแรงกระทำที่จุดที่มีกระแสไหลในอีกแห่งหนึ่ง เช่น มีลวด 2 เส้นที่มีกระแสไหลวางอยู่ใกล้กันจะเกิดแรงกระทำต่อกัน ทั้งนี้เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดที่มีกระแสไหลจะทำให้เกิดแรงกระทำบนประจุที่กำลังเคลื่อนที่ในลวดอีกเส้นหนึ่ง

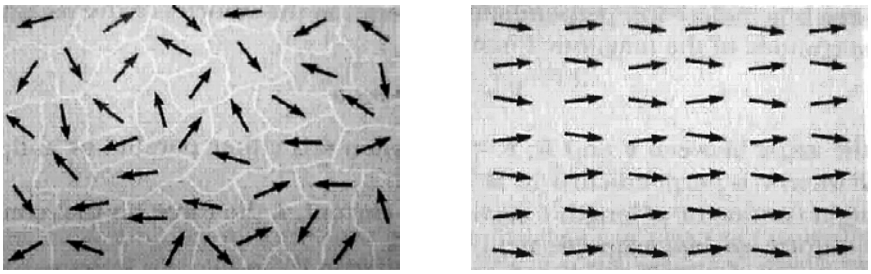
ประเภทของความเป็นแม่เหล็ก

ความเป็นแม่เหล็กแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ Diamagnetism, Paramagnetism, Ferromagnetism

- **Diamagnetism** คือ ความเป็นแม่เหล็กที่อ่อนที่สุด เกิดในอะตอมที่มีโมเมนต์ลัพธ์เป็นศูนย์ เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำสารจะแสดงความเป็นแม่เหล็กอย่างอ่อนๆ ในทิศต่อต้านสนามแม่เหล็กภายนอกนั้นตามกฎของเลนซ์

- **Paramagnetism** อะตอมของสารพาราแมกเนติกส์มีโมเมนต์แม่เหล็กลัพธ์ไม่เป็นศูนย์ แต่พลังงานความร้อนจะทำให้โมเมนต์แม่เหล็กลัพธ์ของแต่ละอะตอมชี้แบบสุ่ม ทำให้ความเป็นแม่เหล็กของสารทั้งก้อนเป็นศูนย์ ในกรณีที่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำเท่านั้นที่โมเมนต์แม่เหล็กจะเรียงตัวไปในแนวเดียวกัน และแสดงความเป็นแม่เหล็ก

- **Ferromagnetism** ที่อุณหภูมิห้องมีธาตุสามชนิด คือ เหล็ก โคบอลท์ และนิกเกิล ที่แสดงความเป็นแม่เหล็กแรงกว่าสารอื่นๆ เรียกว่า เป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกส์ สารประกอบและโลหะผสมอื่นๆ ที่มีธาตุใดๆ ในสามธาตุนี้ คือ สารที่นำมาใช้ทำแม่เหล็กถาวร ความพิเศษของสารประเภทนี้ คือ มีการแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ เรียกว่า โดเมนแม่เหล็ก (Magnetic Domain) ภายในโดเมนโมเมนต์แม่เหล็กชี้ไปทางเดียวกัน ระหว่างโดเมนจะถูกกั้นด้วยเรียกส่วนที่เรียกว่า ผนังโดเมนแม่เหล็ก (Domain Wall)



รูปแสดงการจำลองโดเมนของสารแม่เหล็กเฟอร์โร เมื่อชี้แบบสุ่มและเมื่อชี้ไปทิศเดียวกัน ตามสนามแม่เหล็กภายนอก

จากรูป ในสภาพปกติโมเมนต์แม่เหล็กของแต่ละโดเมนจะชี้สุ่มหักล้างกัน ทำให้ไม่มีสนามแม่เหล็กลัพธ์ เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำ สารนี้จะปรับตัวทำให้มีการเรียงตัวใหม่ ผนังโดเมนจะหายไป และแม้ว่าจะหยุดให้สนามแม่เหล็กภายนอก โมเมนต์แม่เหล็กของสสารก็จะยังคงมีการเรียงตัวไปทางเดียวกันตามเดิม ทำให้สารแม่เหล็กเฟอร์โรนี้มีความเป็นแม่เหล็กอย่างแรง

สารแม่เหล็กเฟอร์โร แบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อย

1. Hard Ferromagnetic Materials หรืออาจเรียกว่า แม่เหล็กถาวร รักษาความเป็นแม่เหล็กได้นาน โดเมนแม่เหล็กไม่อ่อนตัวง่าย ต้องใช้ความร้อนหรือสนามแม่เหล็กแรงในการเปลี่ยนทิศโมเมนต์แม่เหล็ก ตัวอย่างเช่น Nd-Fe-B, Samarium-cobalt, Alnico

2. Soft Ferromagnetic Materials สูญเสียความเป็นแม่เหล็กได้ง่าย โดเมนแม่เหล็กอ่อนตัว พลิกไปมาด้วยความร้อนภายในระบบเอง ตัวอย่างเช่น เหล็ก โคบอลท์ และนิกเกิล

ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็น้อยตามไปด้วย

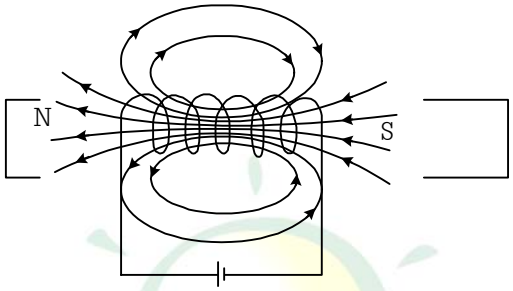
2. ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ กระไฟฟ้าไหลผ่านมากสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นมาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นน้อย

3. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกส์ (Ferromagnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็ก เฟอร์ไรท์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น

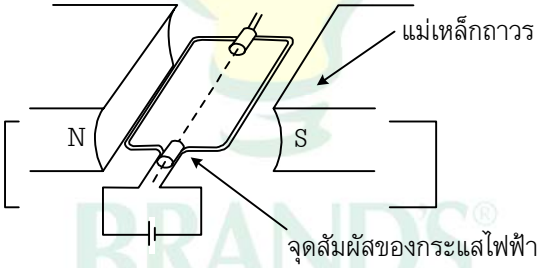
4. ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย

ประโยชน์ของแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อนำลวดตัวนำที่มีฉนวนหุ้ม มาพันเป็นขดลวดวงกลมเรียงซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก เรียกว่า โซเลนอยด์ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดจะมีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้น โดยมีค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดตรงแกนกลาง เมื่อเรานำเหล็กอ่อนมาใส่ไว้ภายในโซเลนอยด์ แกนเหล็กอ่อนจะกลายเป็นแท่งแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะมากขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ไฟฟ้า ดังรูป



ในขณะเดียวกันถ้าทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดสี่เหลี่ยมที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงมากระทำให้ขดลวดหมุนได้ ซึ่งจะเป็นหลักการของมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูป



เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด จะเกิดอำนาจแม่เหล็กต่างขั้วกัน ทำให้ขดลวดหมุนได้

ปัจจุบันนี้แม่เหล็กไฟฟ้ายังเป็นตัวทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดทำงานได้ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ ไมโครโฟน มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องดูดฝุ่น ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องซักผ้า รีเลย์ต่างๆ นอกจากนี้แม่เหล็กยังช่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า เครื่องจักรผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีแม่เหล็กอยู่ภายใน ในเข็มทิศก็มีแม่เหล็ก และแม่เหล็กยังสามารถแยกโลหะต่างๆ ออกจากกันด้วยแม่เหล็กปั่นจั่น

แม่เหล็กและแรงแม่เหล็กบนประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่

ธรรมชาติแม่เหล็กมีคุณลักษณะที่จะกล่าวได้ดังนี้ วัตถุที่เรียกว่าแม่เหล็กปกติ (แต่ไม่จำเป็น) ประกอบด้วยแม่เหล็กสามารถดูดและผลักกับแม่เหล็กอื่น และสามารถดูดชิ้นของเหล็กซึ่งไม่เป็นแม่เหล็ก เหล็กซึ่งเมื่อนำมาวางใกล้แม่เหล็กหรือถูกับแม่เหล็กตัวเหล็กเองจะกลายเป็นแม่เหล็ก แม่เหล็กแตกต่างจากไฟฟ้า โดยเห็นได้จากความจริงที่ว่า ประจุไฟฟ้าและแม่เหล็กเมื่อวางใกล้กันจะไม่มีแรงกระทำซึ่งกัน แม่เหล็กจะมีอิทธิพลต่อแม่เหล็กและประจุไฟฟ้าจะมีอิทธิพลต่อประจุไฟฟ้า แต่แม่เหล็กและประจุไฟฟ้าที่ไม่เคลื่อนที่จะไม่มีอัตรกิริยาต่อกัน

รอบแท่งแม่เหล็กหรือวัตถุที่มีอำนาจแม่เหล็กจะเป็นบริเวณของสนามแม่เหล็ก เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณของสนามแม่เหล็กจะมีแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้าซึ่งกำลังเคลื่อนที่นั้น แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า เนื่องจากสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับความเร็วของประจุไฟฟ้านั้นและความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งนิยามดังปริมาณเวกเตอร์ B ที่เรียกว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic Induction) ซึ่งแรงนี้เขียนได้ว่า

$$\vec{F} = qv \times B \qquad (1)$$

เมื่อ $\vec{F}$ เรียกว่า แรงแม่เหล็ก (Magnetic Induction) ที่กระทำต่อประจุ q วัดในหน่วยนิวตัน

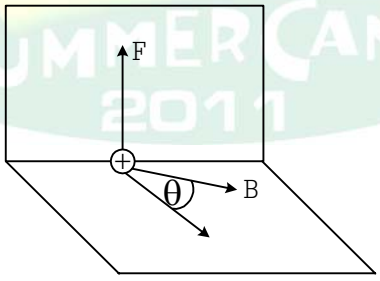
v เป็นความเร็วของประจุไฟฟ้าวัดในหน่วยเมตรต่อวินาที

× เป็นสัญลักษณ์แสดง Cross Product ของเวกเตอร์

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก วัดในหน่วยเทสลา

กฎด้านบนนี้มีชื่อเรียกว่า กฎแรงของลอเรนซ์หาทิศของแรง $\vec{F}$ ได้จากกฎมือขวา หมุนจาก $v \rightarrow B$ จะได้ทิศ $\vec{F}$ ดังรูป

สำหรับประจุบวก ทิศของแรง ความเร็ว และการเหนี่ยวนำแม่เหล็กแสดงได้ดังรูป ถ้าประจุเป็นลบทิศของแรงจะตรงข้ามกับที่แสดงในรูป



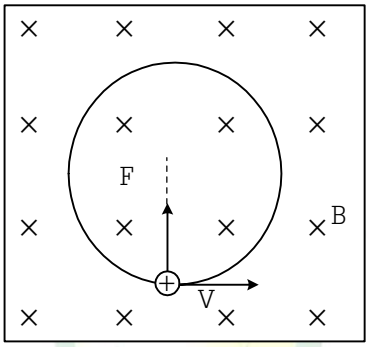
รูปแสดงทิศทางของแรงแม่เหล็กบนประจุไฟฟ้าบวกซึ่งเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

ขนาดของแรงแม่เหล็ก คือ

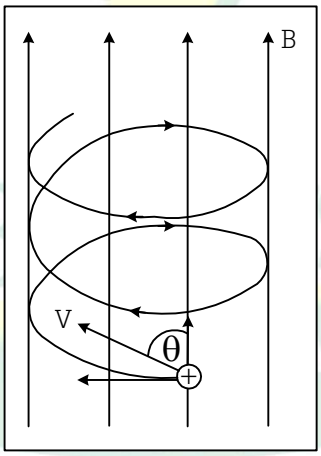
$$F = qvB \sin\theta$$ เมื่อ θ เป็นมุมระหว่าง v กับ B

จะได้ $$B = \frac{F}{qv \sin\theta} \quad (2)$$

ดังนั้น B จะมีหน่วยเป็นนิวตันต่อแอมแปร์เมตรหรือเวเบอร์ต่อตารางเมตรซึ่งมีชื่อเรียกว่า เทสลา (Tesla, T) โดยที่ 1 เทสลา = 104 เกาส์



(ก)



(ข)

รูปแสดงประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก (ก) ความเร็วตั้งฉากกับ B (ข) ความเร็วทำมุม θ กับ B

ถ้าอนุภาคไฟฟ้ามีประจุ q มวล m วิ่งด้วยความเร็ว v ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กความเข้ม B ดังรูป (ก) จะเกิดแรงกระทำบนประจุไฟฟ้าตลอดเวลาทำให้อนุภาคไฟฟ้าเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี r โดยที่มีแรงแม่เหล็กเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง นั่นคือ

$$\vec{F}_C = m\vec{a}_C$$

$$= \frac{mv^2}{R}$$

$$= m\omega^2 R$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

ดังนั้น

$$R = \frac{mv}{qB} \qquad (3)$$

แต่ถ้าอนุภาคไฟฟ้าวิ่งเข้าสนามแม่เหล็กโดยทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก ดังรูป (ข) อนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นเฮลิกซ์ (Helix) โดยที่มีรัศมีของวงเคลื่อนที่ คือ

$$R = \frac{mv \sin\theta}{qB} \qquad (4)$$

$$\therefore R = \frac{mv}{qB}$$

$$= \frac{|\vec{p}|}{qB}$$

$$= \frac{\sqrt{2mE_k}}{qB}$$

$$= \frac{\sqrt{2mE}}{qB}$$

$$= \frac{1}{B}\frac{\sqrt{2mV}}{q}$$

โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดในสนามแม่เหล็ก

$M = NIBA \cos\theta$

M = โมเมนต์ของแรงคู่ควบในขดลวดมีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

N = จำนวนรอบของขดลวด

B = ความเข้มสนามแม่เหล็ก

A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวด

θ = มุมระหว่างขดลวดกับ $\vec{B}$

หม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่ใช้เพิ่มหรือลดความต่างศักย์ของกระแสสลับให้สูงขึ้นหรือต่ำลง แรงเคลื่อน-ไฟฟ้าจะแปรผันตามจำนวนรอบของขดลวด

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ

E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ

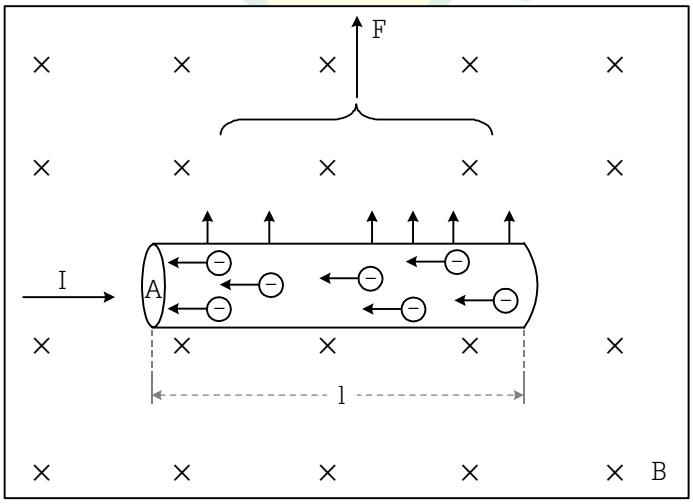
N_1 = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N_2 = จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

ประสิทธิภาพของหม้อแปลง = $\frac{I_2V_2}{I_1V_1} \times 100$

แรงบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า

เมื่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำกับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่ในตัวนำนั้น และเนื่องจากอิเล็กตรอนอยู่ในตัวนำ แรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนก็คือ แรงที่เกิดกับตัวนำ



รูปแรงบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า

พิจารณาตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า I วางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B ดังรูป

ถ้า	n	=	จำนวนอิเล็กตรอนต่อปริมาตร
	q	=	ประจุไฟฟ้า
	v	=	ความเร็วของอิเล็กตรอน
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ
	ℓ	=	ความยาวของตัวนำ
กระแสไฟฟ้า	I	=	nqvA
แรงบนอิเล็กตรอนแต่ละตัว		=	qvB
จำนวนของอิเล็กตรอนทั้งหมด	N	=	$n\ell A$
ดังนั้นแรงลัพธ์	F	=	NqvB
		=	$n\ell AvqB$
นั่นคือ	F	=	$IB\ell$
เมื่อ	I	คือ	กระแสไฟฟ้า

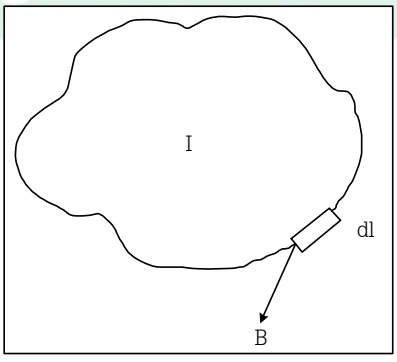
แต่ถ้าตัวนำวางไม่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก แรงบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็กอาจเขียนได้ว่า $F = I\ell \times B$

สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้า

หลังจากที่เออร์สเตดได้พบปรากฏการณ์ที่ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำหรือประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในบริเวณนั้น ซึ่งต่อมาได้มีการทดลองของบิโอต์ (Biot) กับซาวาร์ด (Savart) และรวมทั้งการทดลองของแอมแปร์ด้วยได้เป็นข้อมูลที่สนับสนุนว่ากระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสามารถคำนวณหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นได้

กฎของแอมแปร์

กฎของแอมแปร์ (Ampere's law) เป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำซึ่งกล่าวว่า



รูปแสดงสนามแม่เหล็กตามเส้นทางปิด

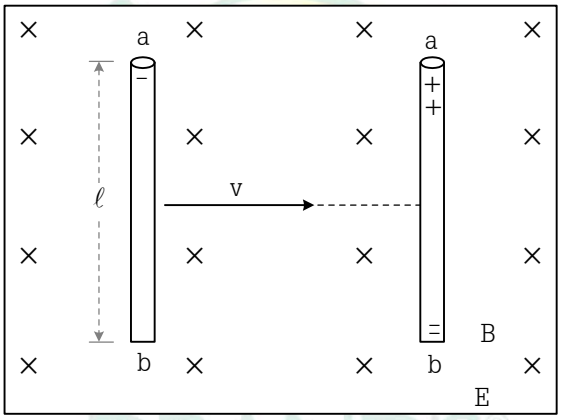
กฎของแอมแปร์จึงกล่าวเป็นใจความได้ว่า การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กตามทางปิดใดๆ ที่ล้อมกระแสไฟฟ้า I จะมีค่าเท่ากับ $\mu_0 I$

ลองพิจารณาในกรณีของตัวนำยาวมากที่มีกระแสไฟฟ้า I จากลักษณะความสมมาตร การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กจะมีเส้นทางเป็นวงกลม ซึ่งมีตัวนำเป็นจุดศูนย์กลาง ดังรูปแสดงสนามแม่เหล็กตามเส้นทางปิด สำหรับสนามแม่เหล็กวงกลมรัศมี a จะได้ว่า

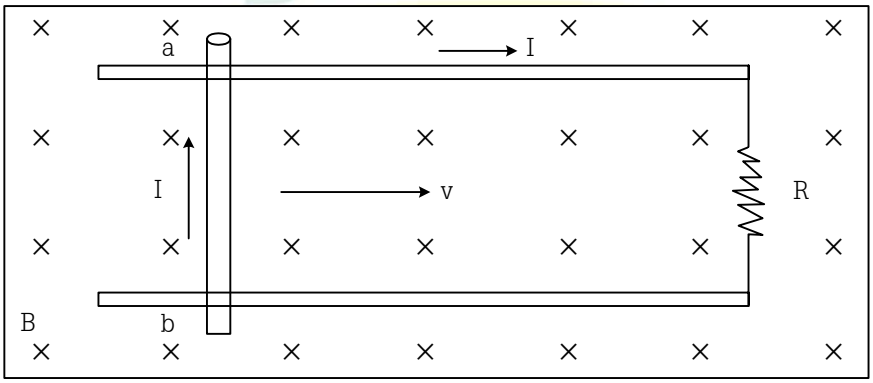
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อเคลื่อนตัวนำในสนามแม่เหล็ก อิเล็กตรอนอิสระในตัวนำจะถูกกระทำด้วยแรงแม่เหล็ก เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวนั้น



(ก)

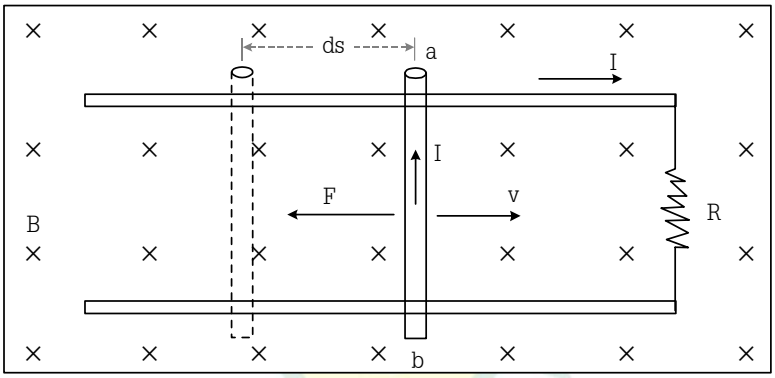


(ข)

รูปแสดงตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก (ก) แสดงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ข) แสดงกระแส

ให้ตัวนำ ab ยาว ℓ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B ดังรูป (ก) อิเล็กตรอนอิสระทุกตัวในตัวนำจะมีความเร็ว v ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B ด้วย ดังนั้นอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะถูกกระทำด้วยแรง qvB ให้เคลื่อนที่ไปในตัวนำตามทิศของแรงที่เกิดกับอิเล็กตรอน จะนำอิเล็กตรอนไปทางปลาย b ของตัวนำ ทางปลาย a จะเหลือประจุบวก ดังนั้นตัวนำ ab จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นทางบวกทางปลาย a และเป็นลบทางปลาย b เมื่อเอาวงจรไฟฟ้ามาต่อเข้ากับตัวนำ ab จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ดังรูป (ข)

เมื่อกระแสไฟฟ้า I ไหลในวงจรไฟฟ้า กระแสจะผ่านตัวนำ ab ที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาเกิดแรงแม่เหล็กกระทำกับตัวนำไปทางซ้ายด้วยขนาด $F = IB\ell$



รูปแสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเนื่องจากตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

พลังงานต่อประจุ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าบนตัวนำที่เคลื่อนที่

ดังนั้น $E = B\ell v$

ทิศของแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าหาได้จากทิศทางของการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าบวก

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ คือ อัตราการเปลี่ยนฟลักซ์แม่เหล็กในวงจรปิดใดๆ ซึ่งเรียกว่า กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับวงจรเหนี่ยวนำ (Faraday-Henry Law of Electromagnetic Induction) เครื่องหมายลบจะแสดงถึงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

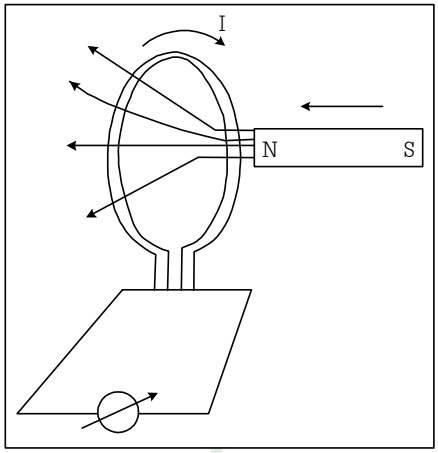
กฎของเลนซ์

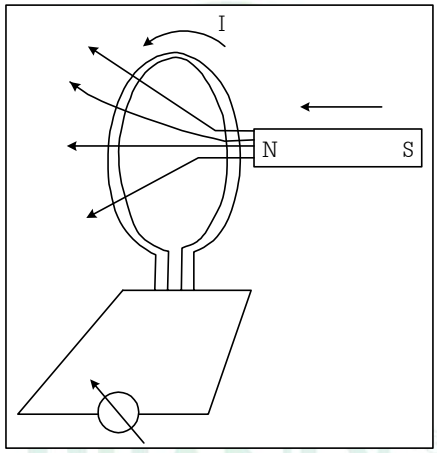
กฎของเลนซ์ (Len's Law) เป็นกฎที่ใช้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ กล่าวว่า กระแสเหนี่ยวนำจะปรากฏในทิศทางที่สร้างสนามแม่เหล็กต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามเดิม

กฎของเลนซ์อาจพิจารณาได้ 2 กรณีดังนี้

1. ถ้าตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก ดังรูป สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำในตัวนำนั้นจะเสริมกับสนามเดิมที่ถูกตัดแล้ว

2. ถ้าสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ใกล้ขดลวด สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำในขดลวดจะต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่นั้น ทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กใกล้ขดลวดแสดงได้ดังรูป





รูปแสดงทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำ

ตัวอย่างที่ 1 อิเล็กตรอนถูกยิงเข้าไปในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กความเข้ม 10 เวเบอร์ต่อตารางเมตร ด้วยความเร็ว 3×10^7 เมตรต่อวินาที จงหาแรงที่เกิดกับอิเล็กตรอนนั้น และถ้าจะรักษาให้แนวทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นแนวเส้นตรงต่อไป จะต้องใส่สนามไฟฟ้าความเข้มเท่าใดในทิศใด

วิธีทำ จาก $F_{แม่เหล็ก} = qvB$

$= 1.6 \times 10^{-19}\ C \times 3 \times 10^7\ m/s \times 10\ Wb/m^2$

นั่นคือแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอน $= 4.8 \times 10^{-11}$ นิวตัน

ในสนามไฟฟ้าทำให้ $F_{ไฟฟ้า} = F_{แม่เหล็ก}$

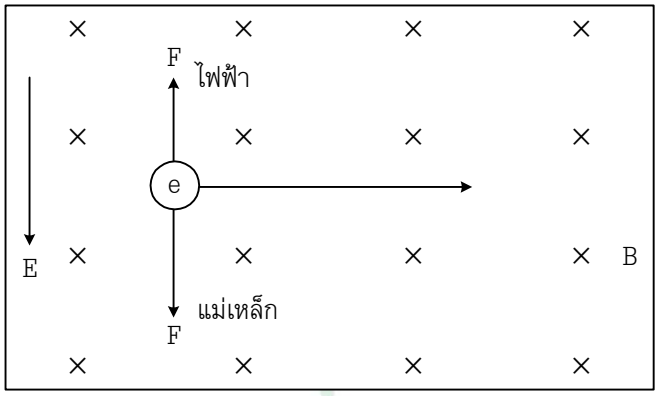
นั่นคือ $qE = qvB$

ดังนั้น $E = vB$

$= 3 \times 10^7\ m/s \times 10\ Wb/m^2$

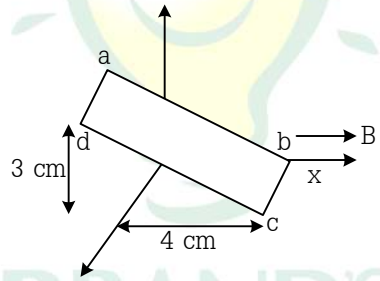
$= 3 \times 10^8$ โวลต์ต่อเมตร

ในทิศเดียวกันกับทิศของแรงแม่เหล็ก ดังรูปด้านล่าง



รูปแสดงอิเล็กตรอนในสนาม B และ E

ตัวอย่างที่ 2 จงหาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้า abcd ขนาด 3 × 5 เซนติเมตร ถ้ามีสนามแม่เหล็ก B ขนาดสม่ำเสมอ 2 เทสลา ในทิศที่ขนาดแกน x ดังรูป



$$B = \frac{\phi}{A}$$

$$\phi = (B \sin \theta) A$$

$$\phi = 2 \times \frac{3}{5} \times 15 \times 10^{-4}$$

$$= 1.8 \times 10^{-3} \text{ Wh}$$

ตัวอย่างที่ 3 อนุภาคมีประจุ 1×10^{-16} คูลอมบ์ มีมวล 4.0×10^{-25} กิโลกรัม เคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว 10^6 เมตร/วินาที ปรากฏว่าทางเดินเป็นรูปวงกลมมีรัศมี 10 เซนติเมตร จงหาขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่ากี่เทสลา

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$B = \frac{mv}{qR}$$

$$= \frac{4 \times 10^{-25} \times 10^{6}}{10^{-16} \times 10^{-1}} = 4 \times 10^{-2} \text{ T}$$

ตัวอย่างที่ 4 อิเล็กตรอนวิ่งเข้าสู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน โดยมีทิศของการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเท่ากัน 2×10^{-4} เทสลา และ 4×10^{2} โวลต์/เมตร ตามลำดับ จงหาอัตราเร็วของอิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่ในบริเวณนี้ได้โดย**ไม่**เบี่ยงเบนไปจากเดิม

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 0 \\ F_B &= F_E \\ qvB &= qE \\ v &= \frac{E}{B} \\ &= \frac{4 \times 10^{2}}{2 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^{6} \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5 อิออน ${}_{2}^{4}He^{+1}$ มีมวล M วิ่งเข้าเครื่อง Mass Spectrometer ด้วยความเร็ว v_0 สนามแม่เหล็ก B ของเครื่อง Spectrometer จะทำให้อิออนนั้นวิ่งเป็นทางรัศมีความโค้งเท่าใด

$$\begin{aligned} R &= \frac{mv}{qB} \\ R &= \frac{Mv_0}{eB} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 6 ถ้าเป็นอิออนของ ${}_{2}^{3}He^{+1}$ วิ่งเข้าเครื่อง Mass Spectrometer เดียวกับตัวอย่างที่แล้ว ด้วยความเร็วเท่ากันรัศมีความโค้งของเส้นทางจะเป็นกี่เท่าจากตัวอย่างที่แล้ว

$$\begin{aligned} R &= \frac{mv}{qB} \\ R &= \frac{3}{4}\frac{Mv}{qB} \end{aligned}$$

${}_{2}^{3}He^{+1}$ มีรัศมีความโค้งของเส้นทางเป็น $\frac{3}{4}$ ${}_{2}^{4}He^{+1}$

ตัวอย่างที่ 7 อิเล็กตรอนที่มีความเร็ว 10^{7} เมตร/วินาที ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 10^{-4} เทสลา จะมีแรงกระทำเท่าใดในหน่วยนิวตัน และถ้าสนามแม่เหล็กนั้นสม่ำเสมออิเล็กตรอนจะวิ่งโค้งด้วยรัศมีความโค้งเท่าใด

$$\begin{aligned} F_B &= qvB \sin\theta \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{7} \times 10^{-4} \\ &= 1.6 \times 10^{-16} \text{ N} \\ R &= \frac{mv}{qB} \\ &= \frac{9 \times 10^{-31} \times 10^{7}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-4}} \\ &= 0.5625 \text{ m} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 8 ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมมีพื้นที่ 12 ตารางเซนติเมตร มีระนาบอยู่ในแนวระดับ วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก 4 เทสลา ในแนวดิ่ง ถ้าจำนวนขดลวดของตัวนำเท่ากับ 500 รอบ จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นตำแหน่งนั้น ถ้าค่าของกระแสที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 5 แอมแปร์

$$M = BINA\cos\theta$$

ขดลวดตัวนำแนวระดับสนามแม่เหล็กอยู่ในแนวดิ่ง แสดงว่า $\theta = 90°$

$$\cos 90° = 0$$

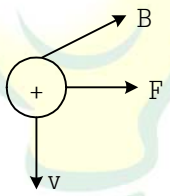
$$M = 0$$

ตัวอย่างที่ 9 โปรตอนจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ลงหาผิวโลกในแนวดิ่งบริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลก ซึ่งมีสนามแม่เหล็กโลกขนานกับผิวโลก โปรตอนจะเบนไปทางทิศใด

ก. ทิศเหนือ ข. ทิศตะวันตก

ค. ทิศใต้ ง. ทิศตะวันออก

สนามแม่เหล็กโลกมีทิศชี้จากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ เมื่อโปรตอนซึ่งเป็นประจุบวกเข้าหาผิวโลกจะถูกแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำตามกฎมือขวา จะได้ทิศของแรงไปทางทิศตะวันออก



ตัวอย่างที่ 10 อนุภาคมวล m ประจุ +q กำลังเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด B เป็นวงกลมรัศมี R จงหาพลังงานจลน์ของอนุภาคนี้

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม $\Sigma F_c = \frac{mv^2}{R}$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \frac{qBR}{m}$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}m\left(\frac{qBR}{m}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{(qBR)^2}{m}\right)$$

ตัวอย่างที่ 11 อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในระนาบ XY โดยที่อัตราเร็วในแนว X มีค่า $v_x = 4 \times 10^5$ เมตร/วินาที และอัตราเร็วในแนว Y มีค่า $v_y = 3 \times 10^5$ เมตร/วินาที เข้าไปในบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็ก เท่ากับ 0.5 เทสลา ในทิศ z จงหาขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอน

ความเร็วจริงของ e $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

$= \sqrt{(4 \times 10^5)^2 + (3 \times 10^5)^2}$

$= 5 \times 10^5$ m/s

$F_B = qyB \sin\theta$

$= (1.6 \times 10^{-19})(5 \times 10^5)(0.5) \sin 90°$

$= 4 \times 10^{-14}$ N

ตัวอย่างที่ 12 อิเล็กตรอนมวล m ประจุ e เคลื่อนที่เป็นทางโค้งรัศมี R ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B แต่ถ้าต้องการทำให้เคลื่อนที่เป็นทางตรง ต้องใส่สนามไฟฟ้าขนาดเท่าใด ในทิศตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กและทิศการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม $\Sigma F_c = \frac{mv^2}{R}$

$evB = \frac{mv^2}{R}$

$v = \frac{eBR}{m}$

$F_B = F_E$

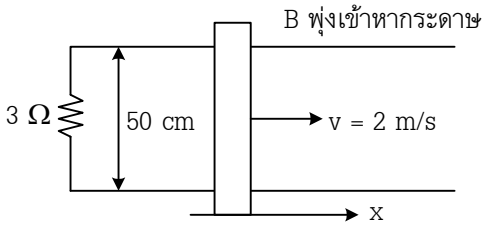
$qvB = qE$

$E = vB$

$= \frac{eBR}{m}(B)$

$B = \frac{eB^2R}{m}$

ตัวอย่างที่ 13 แท่งเหล็กตัวนำวางแตะกับส่วนของวงจรไฟฟ้าทำให้เกิดวงจรครบวงขึ้นระนาบของวงจรนี้ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B ที่มีความเข้ม 0.15 เทสลา ดังรูป ถ้าวงจรนี้มีความต้านทานทั้งหมด 3 โอห์ม จงหาแรงที่ใช้ในการต้านให้แท่งเหล็กนี้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ 2 เมตร/วินาที กำหนดสนามแม่เหล็ก B 0.15 เทสลา ทิศพุ่งเข้าหากระดาษ

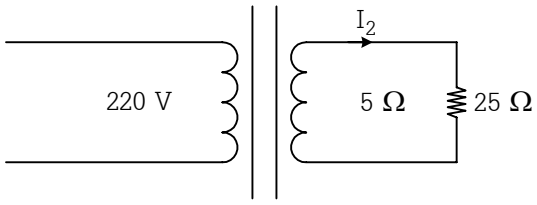


$$
\begin{aligned}
V &= vBl \\
&= 2(0.15)(0.5) \\
&= 0.15 \text{ Volt} \\
F_{\text{ฉุด}} &= F_{\text{ต้าน}} \\
&= IlB \\
&= \frac{V}{R} lB \\
&= \frac{0.15}{3} \times 0.5 \times 0.15 \\
&= 3.75 \times 10^{-3} \text{ N}
\end{aligned}
$$

ตัวอย่างที่ 14 หม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 100% ขดปฐมภูมิมีจำนวน 100 รอบต่อไว้กับไฟกระแสสลับที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 200 โวลต์ ขดทุติยภูมิมีจำนวน 200 รอบและต่อไว้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งขณะนี้ให้กำลัง**สูงสุด** 400 วัตต์ ถ้าขดลวดทุติยภูมิ**ไม่มี**ความต้านทาน เครื่องใช้ไฟฟ้านี้จะมีความต้านทานกี่โอห์ม

$$
\begin{aligned}
\frac{N_1}{N_2} &= \frac{V_1}{V_2} \\
\frac{100}{200} &= \frac{200}{V_2} \\
V_2 &= 400 \text{ Volt} \\
P &= \frac{V^2}{R} \\
400 &= \frac{400^2}{R} \\
R &= 400\ \Omega
\end{aligned}
$$

ตัวอย่างที่ 15 จงหากระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งมีความต้านทาน 25 Ω และขณะใช้งานต้องใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีจำนวนรอบของขดปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 440 รอบ และ 24 รอบ ตามลำดับ โดยความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิเป็น 5 Ω (ควรใช้กับไฟบ้าน)



$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{440}{24} = \frac{220}{V_2}$$

$$V_2 = 12 \text{ Volt}$$

$$= I_2(\Sigma R_2)$$

$$12 = I_2(5 + 25)$$

$$I_2 = 0.4 \text{ A}$$

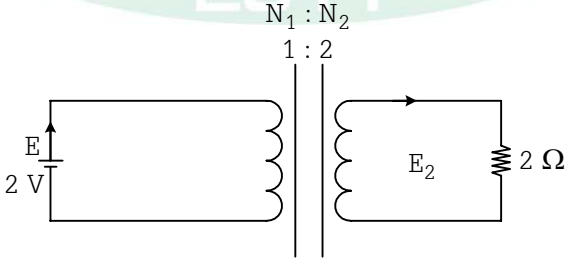
ตัวอย่างที่ 16 ขดลวดสี่เหลี่ยมจำนวน 200 รอบ กว้าง 5 cm และยาว 10 cm วางในสนามแม่เหล็กขนาด 1 T เมื่อแนวระนาบของขดลวดทำมุม 60 องศากับแนวของสนามแม่เหล็ก จะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดเท่าใด จึงจะเกิดแรงกระทำต่อขดลวดเท่ากับ 500 N

$$M = BINA\cos\theta = FL\cos\theta$$

$$1 \times I \times 200 \times (0.05 \times 0.10) = 500 \times 0.05$$

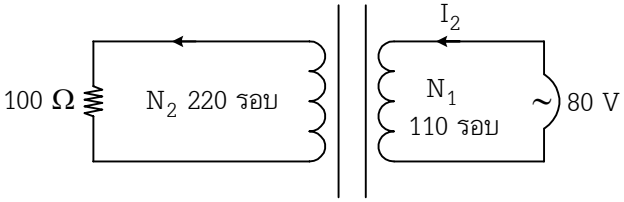
$$I = 25 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 17 ถ้าต่อแบตเตอรี่ E = 2V เข้ากับด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยมีความต้านทาน R = 2 Ω ซึ่งต่อทางด้านทุติยภูมิดังรูป ถ้าอัตราการพันลวด $N_1 : N_2 = 1 : 2$ จงหาค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในตัวความต้านทาน R ว่ามีค่าเท่าใด



เนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้าทางขดปฐมภูมิจะทำให้สนามแม่เหล็กคงที่ จึงไม่เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นในขดทุติยภูมิ ต้องเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น ที่ป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิ

ตัวอย่างที่ 18 หม้อแปลงขดลวดชุด A มี 220 รอบ ขดลวดชุด B มี 110 รอบ ถ้าต่อแหล่งจ่ายไฟเข้าขดลวดชุด B ด้วยแรงดัน 80 V และขดลวดชุด A ต่อเข้ากับความต้านทาน 100 Ω กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดชุด B จะมีค่าเท่าใด ให้ถือว่า**ไม่มี**การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงนี้



$$\frac{E_A}{E_B} = \frac{N_A}{N_B}$$

$$E_A = 80 \times \frac{220}{110}$$

$$= 160 \text{ V}$$

เมื่อประสิทธิภาพของหม้อแปลง 100% ดังนั้น

$$I_A V_A = I_B V_B$$

หรือ

$$I_A E_A = I_B E_B$$

$$I_B = \left(\frac{E_A}{E_B}\right) I_A = \left(\frac{E_A}{E_B}\right)\left(\frac{V_A}{R}\right) = \left(\frac{N_A}{N_B}\right)\left(\frac{E_A}{R}\right)$$

$$I_B = \left(\frac{220}{110}\right)\left(\frac{160}{100}\right)$$

$$= 3.2 \text{ A}$$

ตัวอย่างที่ 19 หม้อแปลงตัวหนึ่งแปลงไฟฟ้าใช้กับหลอด 100 W 120 V ได้โดยหลอด**ไม่**ขาด ถ้าจำนวนขดลวดของขดที่ 1 ต่อขดที่ 2 เป็น 5 : 1 และประสิทธิภาพ 100% จงหากระแสที่ไหลเข้าขดที่ 1 จะมีค่าเท่าใด หลอดไฟจึง**ไม่**ขาด

ในขดทุติยภูมิ : $I_2 = \frac{P}{V} = \frac{100}{120} = \frac{5}{6}$

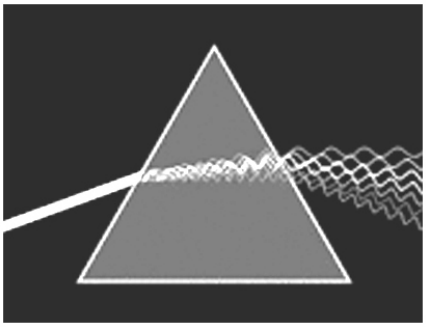
หม้อแปลง : $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

$$I_1 = \left(\frac{1}{5}\right)\left(\frac{5}{6}\right)$$

$$= \frac{1}{6} \text{ A}$$

I_1 มีค่าได้ $\frac{1}{6}$ A เท่านั้น ถ้ามีค่ามากกว่านี้หลอดไฟด้านทุติยภูมิจะขาดได้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ เช่น คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แสงขาวประกอบไปด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่างๆ กันสามารถแยกออกได้ด้วยปริซึม

ปัจจุบันมีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในหลายๆ ด้าน เช่น การติดต่อสื่อสาร (มือถือ โทรทัศน์ วิทยุ เรดาร์ ใยแก้วนำแสง) ทางการแพทย์ (รังสีเอกซ์) การทำอาหาร (คลื่นไมโครเวฟ) การควบคุมรีโมท (รังสีอินฟราเรด)

คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ เป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นไฟฟ้า และคลื่นแม่เหล็กตั้งฉากกัน และเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ด้วยความเร็ว 299,792,458 m/s หรือเทียบเท่ากับสเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคม และทางการแพทย์

สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่
2. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ 299,792,458 m/s ซึ่งเท่ากับ อัตราเร็วของแสง
3. เป็นคลื่นตามขวาง
4. ถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง
5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร
6. ไม่มีประจุไฟฟ้า
7. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุมีความถี่ช่วง 10^4–10^9 Hz (เฮิรตซ์) ใช้ในการสื่อสาร คลื่นวิทยุมีการส่งสัญญาณ 2 ระบบ คือ

1. ระบบเอเอ็ม (A.M. = Amplitude Modulation)

ระบบเอเอ็มมีช่วงความถี่ 530–1600 kHz (กิโลเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้าไปกับคลื่นวิทยุเรียกว่า “คลื่นพาหะ” โดยแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง

ในการส่งคลื่นระบบ A.M. สามารถส่งคลื่นได้ทั้งคลื่นดินเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงขนานกับผิวโลกและคลื่นฟ้า โดยคลื่นจะไปสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วสะท้อนกลับลงมา จึงไม่ต้องใช้สายอากาศตั้งสูงรับ

2. ระบบเอฟเอ็ม (F.M. = Frequency Modulation)

ระบบเอฟเอ็มมีช่วงความถี่ 88–108 MHz (เมกะเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้ากับคลื่นพาหะ โดยความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง

ในการส่งคลื่นระบบ F.M. ส่งคลื่นได้เฉพาะคลื่นดินอย่างเดียว ถ้าต้องการส่งให้คลุมพื้นที่ต้องมีสถานีถ่ายทอดและเครื่องรับต้องตั้งเสาอากาศสูงๆ รับ

คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ

คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟมีความถี่ช่วง 10^8–10^{12} Hz มีประโยชน์ในการสื่อสาร แต่จะไม่สะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์จะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะๆ เพราะสัญญาณเดินทางเป็นเส้นตรง และผิวโลกมีความโค้ง ดังนั้นสัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียงประมาณ 80 กิโลเมตรบนผิวโลก อาจใช้ไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียม แล้วให้ดาวเทียมนำสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกลๆ เนื่องจากไมโครเวฟจะสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน เรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า เรดาร์ โดยส่งสัญญาณไมโครเวฟออกไปกระทบอากาศยาน และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากอากาศยาน ทำให้ทราบระยะห่างระหว่างอากาศยานกับแหล่งส่งสัญญาณไมโครเวฟได้

รังสีอินฟาเรด (Infrared Rays)

รังสีอินฟาเรดมีช่วงความถี่ 10^{11}–10^{14} Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-3}–10^{-6} เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟาเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้ และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้

แสง (Light)

แสงมีช่วงความถี่ 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาทตาของมนุษย์รับได้ สเปคตรัมของแสงสามารถแยกได้ดังนี้

สี	ความยาวคลื่น (nm)
ม่วง	380–450
น้ำเงิน	450–500
เขียว	500–570
เหลือง	570–590
แสด	590–610
แดง	610–760

รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Rays)

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือรังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง 10^{15}–10^{18} Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเลต สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน

รังสีเอกซ์ (X-Rays)

รังสีเอกซ์ มีความถี่ช่วง 10^{16}–10^{22} Hz มีความยาวคลื่นระหว่าง 10^{-8}–10^{-13} เมตร ซึ่งสามารถทะลุสิ่งกีดขวางหนาๆ ได้ หลักการสร้างรังสีเอกซ์ คือ การเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย ในวงการอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง และศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก

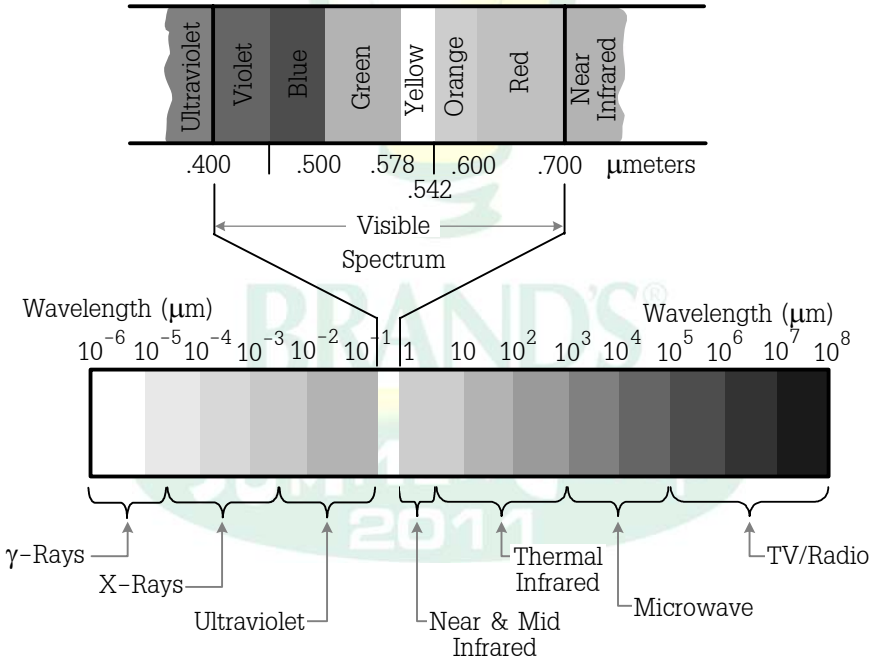
รังสีแกมมา (γ-Rays)

รังสีแกมมามีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ามีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์และสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง

ความยาวคลื่นและความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทพลังงานจากแหล่งที่มีพลังงานสูงแผ่รังสีออกไปรอบๆ โดยมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ความยาวคลื่น (λ) โดยอาจวัดเป็น nanometer (nm) หรือ micrometer (μm) และความถี่คลื่น (f) ซึ่งจะวัดเป็น hertz (Hz) โดยคุณสมบัติทั้งสองมีความสัมพันธ์ผ่านค่าความเร็วแสงในรูป $C = f\lambda$

พลังงานของคลื่นพิจารณาเป็นความเข้มของกำลังงาน หรือฟลักซ์ของการแผ่รังสี (มีหน่วยเป็น พลังงานต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ = Joule $s^{-1} \cdot m^{-2}$ = watt $\cdot m^{-2}$) ซึ่งอาจวัดจากความเข้มที่เปล่งออกมา (Radiance) หรือความเข้มที่ตกกระทบ (Irradiance)



เครื่องมือวัด (Sensor) ของดาวเทียมหรืออุปกรณ์ตรวจวัดจะออกแบบมาให้เหมาะสมกับช่วงความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นต่างกัน เช่น

- ช่วงรังสีแกมมา (Gamma Ray : $\lambda < 0.1$ nm) และช่วงรังสีเอกซ์ (X-Ray : 0.1 nm $< \lambda <$ 300 nm) เป็นช่วงที่มีพลังงานสูง แผ่รังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ หรือจากสารกัมมันตรังสี
- ช่วงอัลตราไวโอเลต เป็นช่วงที่มีพลังงานสูง เป็นอันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต
- ช่วงคลื่นแสง เป็นช่วงคลื่นที่ตามนุษย์รับรู้ได้ ประกอบด้วยแสงสีม่วง ไล่ลงมาจนถึงแสงสีแดง
- ช่วงอินฟราเรด เป็นช่วงคลื่นที่มีพลังงานต่ำ ตามนุษย์มองไม่เห็น จำแนกออกเป็น อินฟราเรดคลื่นสั้น และอินฟราเรดคลื่นความร้อน

o Near Infrared (NIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 ถึง 1.5 μm

o Short Wavelength Infrared (SWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 ถึง 3 μm

o Mid Wavelength Infrared (MWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 3 ถึง 8 μm

o Long Wavelength Infrared (LWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 8 ถึง15 μm

o Far Infrared (FIR) ความยาวคลื่นจะมากกว่า 15 μm

ช่วงคลื่นวิทยุ (Radio Wave) เป็นช่วงคลื่นที่เกิดจากการสั่นของผลึกเนื่องจากได้รับสนามไฟฟ้า หรือเกิดจากการสลับขั้วไฟฟ้า สำหรับในช่วงไมโครเวฟ มีการให้ชื่อเฉพาะ เช่น

o P Band ความถี่อยู่ในช่วง 0.3-1 GHz (30-100 cm)

o L Band ความถี่อยู่ในช่วง 1-2 GHz (15-30 cm)

o S Band ความถี่อยู่ในช่วง 2-4 GHz (7.5-15 cm)

o C Band ความถี่อยู่ในช่วง 4-8 GHz (3.8-7.5 cm)

o X Band ความถี่อยู่ในช่วง 8-12.5 GHz (2.4-3.8 cm)

o Ku Band ความถี่อยู่ในช่วง 12.5-18 GHz (1.7-2.4 cm)

o K Band ความถี่อยู่ในช่วง 18-26.5 GHz (1.1-1.7 cm)

o Ka Band ความถี่อยู่ในช่วง 26.5-40 GHz (0.75-1.1 cm)

ประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI)

ปัจจุบันได้มีการตรวจโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เอ็มอาร์ไอ) เพื่อช่วยในการวินิจฉัยโรคของกระดูกและข้อเป็นจำนวนมาก การตรวจ MRI จะเห็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในโพรงกระดูก หรือไขกระดูกได้อย่างชัดเจน เช่น เนื้องอกภายในกระดูก MRI จะสามารถบอกขอบเขตของโรคได้ถูกต้องแม่นยำ เพื่อประโยชน์ในการวางแผนการรักษาโรคของกระดูกบางอย่าง เช่น การขาดเลือดไปเลี้ยงที่หัวของกระดูกต้นขา MRI เป็นการตรวจที่ไวที่สุด สามารถตรวจพบความผิดปกติได้ แม้ภาพเอกซเรย์ธรรมดายังปกติอยู่

ข้อที่มีการตรวจ MRI มากที่สุด คือ ข้อเข่า รองลงมา คือ ข้อไหล่ เมื่อสงสัยว่าจะมีการฉีกขาดของเส้นเอ็นหรือกระดูกอ่อนภายในข้อ การถ่ายภาพเอกซเรย์ธรรมดาอาจเห็นเพียงเงาของน้ำในข้อ แต่ MRI จะเห็นส่วนประกอบต่างๆ ภายในข้อได้อย่างชัดเจน และบอกได้อย่างแม่นยำว่ามีการบาดเจ็บต่อส่วนประกอบเหล่านั้นอย่างไรบ้าง เครื่องตรวจโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เอ็มอาร์ไอ) ถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย และรวดเร็วมากที่สุดเทคโนโลยีหนึ่ง โดยเครื่องแรกถูกนำมาใช้เมื่อประมาณยี่สิบปีก่อน ล่าสุดจากการสำรวจในปี 2002 พบว่ามีเครื่องตรวจโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เอ็มอาร์ไอ) ทั่วโลก 22000 เครื่อง และมีการตรวจด้วยเครื่องมือดังกล่าวรวมทั้งสิ้นมากกว่า 60 ล้านครั้ง การตรวจ MRI ปราศจากรังสีเอกซ์แบบที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีธรรมดาและการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่พบว่าการตรวจ MRI มีอันตรายต่อทารกในครรภ์ นอกจากนี้การตรวจ MRI สามารถให้ภาพที่แยกความแตกต่างระหว่างเนื้อเยื่อต่างๆ ได้ชัดเจน ทำให้มีความถูกต้องแม่นยำในการวินิจฉัยโรคมากยิ่งขึ้น อีกทั้งสามารถทำการตรวจได้ในทุกๆ ระนาบไม่ใช่เฉพาะแนวขวางอย่างเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

จุดเด่นของเครื่องตรวจโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ เป็นการตรวจที่ปลอดภัยและไม่เจ็บ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดบางประการในกรณีผู้ป่วยที่มีอุปกรณ์แม่เหล็กอยู่ภายในร่างกาย เช่น เครื่องกระตุ้นหัวใจจะไม่สามารถทำการตรวจโดยใช้เครื่องตรวจโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เอ็มอาร์ไอ)

อันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากการค้นคว้าในต่างประเทศพบว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าได้กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวนมากออกมา โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ มือถือ ทีวี และไมโครเวฟ เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ที่มีอยู่ในทุกครัวเรือน ผลทางการแพทย์ระบุว่า คลื่นแม่เหล็กอาจก่อให้เกิดมะเร็ง เนื้องอกในสมอง อัลไซเมอร์ โรคพาร์กินสัน โรคติดเชื้อ เสื่อมสมรรถภาพทางเพศ กระดูกพรุน เป็นต้น ในบรรดาเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลาย โทรศัพท์มือถือจะทำให้ได้รับอันตรายมากที่สุด เนื่องจากลักษณะการใช้จะใกล้ชิดหูมากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ดังนั้นแฟชั่นการใช้โทรศัพท์มือถือในเด็กถือว่าเป็นสิ่งที่อันตราย เนื่องจากเด็กมีสภาพร่างกายที่ต่างจากผู้ใหญ่ โดยเฉพาะเด็กเล็กที่กะโหลกจะบางกว่าผู้ใหญ่ การรับคลื่นความร้อนเหล่านั้นอาจจะส่งผลให้สมองเสื่อมเร็วยิ่งขึ้น สำหรับเตาไมโครเวฟที่ผ่านมาจะเห็นว่ามีเตาไมโครเวฟราคาถูกเข้ามาในตลาดบ้านเรา ตรงนี้ควรมีการตรวจเช็คเนื่องจากของราคาถูกบางครั้งอาจไม่มีมาตรการป้องกันอันตรายให้ผู้บริโภค ที่สำคัญกลุ่มแม่บ้านถือเป็นกลุ่มเสี่ยง เนื่องจากแม่บ้านต้องทำอาหาร มีการยืนอยู่หน้าเตาไมโครเวฟเป็นเวลานาน ตรงนี้เป็นเรื่องเสี่ยงที่ต้องระวัง ส่วนโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ ผู้ที่นั่งหน้าจอโทรทัศน์ หรือจอคอมพิวเตอร์จำต้องมีมาตรการป้องกัน คือ ควรต้องมีการใช้แผ่นกรองรังสีที่ส่งออกมาจากหน้าจอ ในต่างประเทศพบว่ามีคนที่อยู่หน้าคอมพิวเตอร์ทำงานถึงกับช็อคมาแล้ว โดยมีสาเหตุมาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่รังสีออกมา หรือทำให้บางคนประสาทตาเสีย มีอาการปวดศีรษะ ปวดตา อาเจียน หากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากๆ ร่างกายจะเกิดสภาวะเลือดข้นขึ้นทำให้เลือดในร่างกายหมุนเวียนได้ยาก ของเสียผ่านออกมาได้ลำบาก ในร่างกายคนเรามีน้ำประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผลให้โครงสร้างของกลุ่มโมเลกุลใหญ่ขึ้น หมายความว่า น้ำจะมีการจับกลุ่มกัน อาทิ น้ำประปาจะมีการจับกลุ่มของโมเลกุลประมาณ 14 โมเลกุล แต่เมื่อน้ำรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากเกินไปจนถึงขั้นเป็นอันตรายต่อร่างกายน้ำจะปรับการจับกลุ่มเป็น 30 โมเลกุล โมเลกุลที่เป็นกลุ่มใหญ่กับกลุ่มเล็กจะผิดกันตรงที่ว่าน้ำต้องผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อจะนำสารอาหาร นำออกซิเจนเข้าไปในเซลล์เพราะอาหารต่างๆ ที่เราทานเข้าไปน้ำจะเป็นตัวนำสารอาหารเข้าไปในเซลล์ แต่เมื่อกลุ่มโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะผ่านเข้าเซลล์ยาก ขณะเดียวกันน้ำต้องนำสารพิษและของเสียออกมาในรูปของเหงื่อ ปัสสาวะ และอุจจาระ หากน้ำไม่สามารถนำของเสียเหล่านี้ออกมาได้โดยสะดวกจะเกิดการหมักหมม ของเสียออกยากของดีก็เข้ายาก ในที่สุดเซลล์จะเสื่อมคุณภาพ และทำให้เกิดการเจ็บป่วย ภูมิคุ้มกันเชื้อโรคต่างๆ ที่เคยทำงานปกติจะบกพร่อง เกิดโรคต่างๆ ติดตามมา เช่น โรคติดเชื้อง่าย ปวดศีรษะ กระดูกผุ

ทั้งนี้เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าสู่ร่างกายจะไม่เกิดผลทันทีทันใดกับผู้ที่ได้รับคลื่น แต่การเกิดผลนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้านทานของร่างกายแต่ละคน และระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ เด็ก ผู้สูงอายุ หรือผู้ที่ร่างกายอ่อนแอย่อมเห็นผลอันตรายมากกว่าผู้ที่แข็งแรง แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าผู้ที่แข็งแรงจะไม่ได้รับอันตราย แต่จะเป็นการสะสมในร่างกายเมื่อถึงจุดที่ร่างกายรับไม่ได้ก็จะแสดงผลออกมา ศ.นพ.ณรงค์ กล่าว

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากโทรศัพท์มือถืออาจส่งความร้อนถึงลูกอัณฑะ ทำให้อสุจิเกิดอันตรายได้ ข้อควรระวัง คือ ไม่ควรใส่มือถือในกระเป๋ากางเกงหรือคาดเอว ผู้หญิงไม่ควรแขวนมือถือในช่วงหน้าอก เพราะมือถือที่เปิดเครื่องไว้จะส่งคลื่นแม่เหล็กตลอดเวลา ส่วนการใช้สมอลทอล์กบริเวณสมองได้รับคลื่นแม่เหล็กน้อยลงจริง แต่หากเครื่องมือถืออยู่ใกล้ร่างกายก็ได้รับอันตรายเช่นกัน

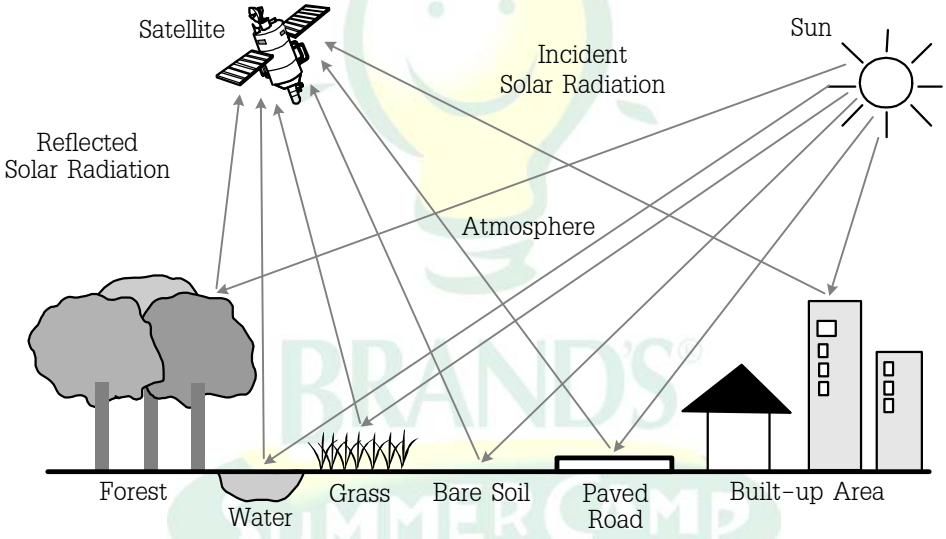
วิธีป้องกันที่ดีที่สุด คือ พยายามใช้อุปกรณ์เหล่านั้นให้น้อยที่สุด หรือการอยู่ให้ห่างจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นให้มากที่สุด เช่น พยายามอยู่ให้ห่างจากเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ ให้มากที่สุด

- กรณีต้องใช้ไมโครเวฟไม่ควรรอหน้าตู้ไมโครเวฟ ให้ทิ้งช่วงห่างให้มากที่สุด เมื่ออุ่นอาหารเสร็จไม่จำเป็นต้องรีบร้อนเปิดนำอาหารออก ให้รอสักครู่ก่อน เมื่อจะยื่นมือเข้าไปหยิบอาหารทางที่ดีควรสวมถุงมือที่ทำด้วยผ้าจะช่วยลดความรุนแรงรังสีที่ตกค้างได้

- กรณีโทรศัพท์มือถือไม่ควรโทรติดต่อกันนาน การโทรศัพท์มือถือ 2-3 นาที แล้ววางสายย่อมดีกว่าการโทรศัพท์ติดต่อนาน 5-6 นาที

- กรณีคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ควรหาที่กรองแสงที่มีประสิทธิภาพมาติดที่หน้าจอ ไม่ควรใช้สายตาอยู่หน้าจอโทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ติดต่อกันเป็นเวลานาน

- เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ยังไม่มีใครพิสูจน์ได้ว่าปลอดภัย 100 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความจำเป็นในชีวิตประจำวัน ดังนั้นควรใช้ให้น้อยลง สำหรับโทรศัพท์มือถือหากจำเป็นต้องพูดธุระนานๆ พยายามใช้โทรศัพท์บ้านแทน ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าโทรศัพท์และช่วยลดอันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้



ความยาวช่วงคลื่นและความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ดวงอาทิตย์ มีอุณหภูมิ 6000 K จะแผ่พลังงานในช่วงคลื่นแสงมากที่สุด วัตถุต่างๆ บนพื้นโลกส่วนมากจะมีอุณหภูมิประมาณ 300 K จะแผ่พลังงานในช่วงอินฟราเรดความร้อนมากที่สุด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกโมเลกุลอากาศ และฝุ่นละอองในอากาศดูดกลืน และขวางไว้ทำให้คลื่นกระเจิงคลื่นออกไป คลื่นส่วนที่กระทบถูกวัตถุจะสะท้อนกลับ และเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมาตกสู่อุปกรณ์วัดคลื่น

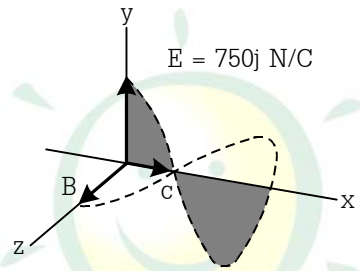
เนื่องจากวัตถุต่างๆ มีคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ช่วงคลื่นต่างๆ ไม่เหมือนกัน ดังนั้นเราจึงสามารถใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสำรวจจากระยะไกลได้ รูปด้านบนแสดงลักษณะการสะท้อนแสงเปรียบเทียบระหว่างวัตถุต่างชนิดกันที่ช่วงคลื่นต่างๆ กัน ความสามารถในการสะท้อนแสงของวัตถุต่างๆ บนพื้นโลกสามารถสรุปได้ดังนี้

- น้ำสะท้อนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงินได้ดี และดูดกลืนคลื่นในช่วงอื่นๆ และให้สังเกตว่าน้ำจะดูดกลืนคลื่น IR ช่วง 0.91 mm ในช่วงนี้ได้ดีมาก
- ดินสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงได้ดีทุกสี
- พืชสะท้อนแสงช่วงสีเขียวได้ดี และสะท้อนช่วงอินฟราเรดได้ดีกว่าน้ำและดินมาก

ตัวอย่างที่ 1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่นไซน์มีความถี่ 40.0 MHz เคลื่อนที่ในทิศ +x ดังรูป ณ จุดหนึ่งเวลาใดๆ มีสนามไฟฟ้า**มากที่สุด**เป็น 750 N/C ตามแกน y จงหา

ก. ความยาวคลื่นและคาบของคลื่น

ข. ความเร็วเชิงมุมและเลขคลื่น



ก. ความยาวคลื่นและคาบของคลื่น

เนื่องจาก $c = f\lambda \rightarrow \lambda = c/f = \dfrac{3.00 \times 10^8}{40.0 \times 10^7} = 7.50$ m

$\tau = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{40.0 \times 10^7} = 2.5 \times 10^{-8}$ sec

ข. $\omega = 2\pi f = 8\pi \times 10^{-7}\ s^{-1}$

$k = 2\pi/\lambda = 0.838$ rad/m

ตัวอย่างที่ 2 คลื่นวิทยุ 2 คลื่น มีความถี่ 1.5×10^8 และ 3×10^8 เฮิรตซ์ ตามลำดับ คลื่นวิทยุทั้งสองนี้จะมีความยาวคลื่น**ต่างกัน**เท่าใด

คลื่นวิทยุมีความเร็ว V เท่ากับ 3×10^8 m/s

ความเร็ว = ความถี่ × ความยาวคลื่น

$V = f\lambda$

$3 \times 10^8 = 1.5 \times 10^8\ \lambda_1$

$\lambda_1 = 2$ m

$3 \times 10^8 = 3 \times 10^8\ \lambda_2$

$\lambda_2 = 1$ m

ความยาวคลื่น**ต่างกัน** 1 เมตร

ตัวอย่างที่ 3 ดาวเทียมไทยคมโคจรด้วยอัตราเร็วเชิงมุมเท่ากับโลกที่ตำแหน่งซึ่งสูงจากผิวโลก 36000 กิโลเมตร สัญญาณคลื่นโทรทัศน์ที่ส่งจากดาวเทียมไทยคมมายังผิวโลก จะใช้เวลาในการเดินทางกี่มิลลิวินาที คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเร็ว 3×10^8 m/s

ระยะทาง = ความเร็ว × เวลา

$36000 = 3 \times 10^8 \times t$

t = 120 มิลลิวินาที

ตัวอย่างที่ 4 ตามทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ การเปลี่ยนสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิด

ก. แรงเคลื่อนไฟฟ้า ข. กระแสไฟฟ้า

ค. สนามแม่เหล็ก ง. สนามไฟฟ้า

ตอบ ค. สนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่ 5 สิ่งที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่าน คือ

ก. ความยาวคลื่น ข. ความถี่

ค. ความเร็วคลื่น ง. พลังงาน

ตอบ ง. พลังงาน

ตัวอย่างที่ 6 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมากคือ

ก. แสง ข. รังสีอินฟราเรด

ค. รังสีแกมมา ง. ไมโครเวฟ

ตอบ รังสีแกมมา เนื่องจากมีความถี่สูงกว่า 105 มีผลกระทบต่อร่างกายโดยตรง

ตัวอย่างที่ 7 หลอดฟลูออเรสเซนส์ให้แสงสว่างเนื่องจาก

ก. รังสีอินฟราเรด ข. ไมโครเวฟ

ค. รังสีอัลตราไวโอเลต ง. รังสีเอกซ์

ตอบ ไอปรอทแตกตัวให้รังสีอัลตราไวโอเลต

ตัวอย่างที่ 8 สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งหนึ่งออกอากาศด้วยคลื่น 100 เมกะเฮิรตซ์ ถ้าท่านต้องการสร้างสายอากาศสำหรับรับคลื่นของสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งนี้ ความยาวที่เหมาะสมของสายอากาศที่ท่านสร้างจะเป็นเท่าใด

ก. 0.75 เมตร ข. 1.0 เมตร

ค. 1.5 เมตร ง. 3.0 เมตร

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{100 \times 10^6} = 3 \text{ m}$$

$$\frac{\lambda}{2} = 1.5 \text{ m}$$

ตัวอย่างที่ 9 รังสีอินฟาเรดและคลื่นไมโครเวฟ มีสิ่งที่เหมือนกันคือ

1. เป็นคลื่นประเภทเดียวกัน
2. มีประโยชน์ในการสื่อสารเหมือนกัน
3. ตรวจรับด้วยฟิล์มถ่ายรูปเหมือนกัน

ข้อที่**ถูกต้อง**คือ

ก. 1 เท่านั้น ข. 1 และ 2

ค. 2 และ 3 ง. 1 และ 3

ตอบ ก.

1. รังสีอินฟาเรดและคลื่นไมโครเวฟ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกัน
2. รังสีอินฟาเรด ใช้ในการถ่ายรูปในที่มืดโดยไม่ให้เกิดแสงสว่าง ใช้ถ่ายภาพบริเวณที่มีหมอกหนาแน่น คลื่นไมโครเวฟ ใช้ในการสื่อสาร
3. รังสีอินฟาเรดตรวจรับด้วยฟิล์มได้ คลื่นไมโครเวฟตรวจรับด้วยฟิล์มไม่ได้

ตัวอย่างที่ 10 กำหนดให้ t_1, t_2 และ t_3 เป็นเวลาที่

คลื่นเสียง (ความถี่ $20^{-2} \times 10^4$ Hz) มีความเร็ว 350 m/s

คลื่นวิทยุ (ความถี่ 10^4–10^9 Hz) มีความเร็วเท่ากับแสง และ

คลื่นไมโครเวฟ (ความถี่ 10^8–10^{12} Hz) มีความเร็วเท่ากับแสง

เดินทางในระยะที่เท่ากัน ตามลำดับ ข้อใดที่**ถูกต้อง**

ก. $t_1 > t_2 > t_3$ ข. $t_1 < t_2 < t_3$

ค. $t_1 > t_2 = t_3$ ง. $t_1 > t_2 < t_3$

ตอบ ค. $t_1 > t_2 = t_3$

คลื่นเสียงใช้เวลา $t_1 = \frac{S}{350}$ วินาที

คลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟ ใช้เวลา $t_2 = t_3 \approx \frac{S}{3 \times 10^8}$ วินาที

ตัวอย่างที่ 11 ข้อความต่อไปนี้ข้อใดกล่าว**ถูกต้อง**ตามทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ขณะประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วงจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าโดยรอบ ยกเว้นบริเวณนั้นเป็นฉนวน
3. บริเวณรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าจะเกิดสนามแม่เหล็ก

ก. 1., 2. และ 3. ข. 1. และ 3.

ค. 3. เท่านั้น ง. 2. และ 3.

ตอบ ข. 1. และ 3.

ตัวอย่างที่ 12 เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วงจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ว่าตัวกลางจะเป็นตัวนำหรือฉนวนก็ตาม และจากกฎเออร์สเตดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าย่อมเกิดสนามแม่เหล็กโดยรอบ

คำกล่าวต่อไปนี้ข้อใดบ้างที่**ถูกต้อง**

1. คลื่นไมโครเวฟสะท้อนจากผิวโลหะได้ดี
2. คลื่นโทรทัศน์เลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวาง เช่น รถยนต์ได้
3. รังสีอัลตราไวโอเลตและทะลุผ่านแก้วได้ดี
4. คลื่นวิทยุเอเอ็ม (530 KHz–1.6 MHz) สะท้อนได้ดีที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์

ก. 1., 2. และ 3. ข. 1. และ 3.

ค. 1. และ 2. ง. 3. และ 4.

ตอบ ค. 1. และ 2.

1. คลื่นไมโครเวฟสะท้อนจากผิวโลหะได้ดี **ถูก**
2. คลื่นโทรทัศน์เลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวาง เช่น รถยนต์ได้ **ถูก**
3. รังสีอัลตราไวโอเลตไม่ทะลุผ่านแก้ว **ผิด**
4. คลื่นวิทยุเอเอ็ม (530 KHz–1.6 MHz) มีทั้งคลื่นฟ้าและคลื่นดิน **ผิด**

ฟิสิกส์อะตอม

แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณ

ลูซิพพุส (ประมาณ พ.ศ. 93) เสนอแนวความคิดว่า ถ้าระยะห่างหรือมวลสารเป็นสิ่งที่แบ่งไปได้จำกัด เมื่อแบ่งต่อๆ ไป จะได้หน่วยที่เล็กที่สุดที่มองไม่เห็น เรียกว่า อะตอม

ดิโมคริตุส (ประมาณ พ.ศ. 83-173) นักปราชญ์ชาวกรีกเสนอแนวคิดกับเรื่องโครงสร้างสสารว่า โลกประกอบด้วยสสาร และที่ว่างสสารประกอบด้วยอะตอม ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด และแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้ สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่มีเนื้อเหมือนกัน แต่มีขนาด รูปร่าง และการจัดเรียงตัวต่างกัน จึงทำให้เกิดสสารต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม

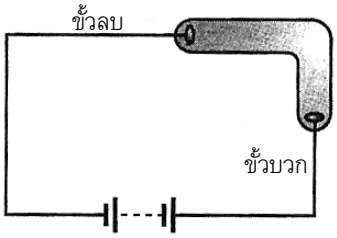
เอมเพโดคลีส (ประมาณ พ.ศ. 53-113) ได้เสนอทัศนะสรรพสิ่งในธรรมชาติ ประกอบด้วยสารมูลฐาน 4 ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ ในอัตราส่วนต่างๆ และเป็นสิ่งที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง และไม่เปลี่ยนแปลง

อาริโตเติล (ประมาณ พ.ศ. 159-221) ยอมรับแนวคิดของเอมเพโดคลีส เขาได้อธิบายโครงสร้างของสสารว่า สสารทุกชนิดมีเนื้อต่อเนื่อง ไม่มีช่องว่าง ไม่มีเนื้อสสารและสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กๆ เท่าใดก็ได้ไม่จำกัด นั่นคือ ไม่มีอะตอม เขาเชื่อว่าสรรพสิ่งทั้งหลายในโลกประกอบด้วยสารมูลฐาน 4 อย่าง คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐานเหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐาน

ทฤษฎีอะตอมของดอลตัน อธิบายว่า สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดและแบ่งแยกอีกต่อไปไม่ได้ ธาตุเดียวกันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมที่ต่างกัน อะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและน้ำหนักเฉพาะตัว อะตอมชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นอะตอมชนิดอื่นไม่ได้ อะตอมของธาตุหนึ่งๆ อาจรวมกับอะตอมธาตุอื่นได้ในสัดส่วนคงตัว

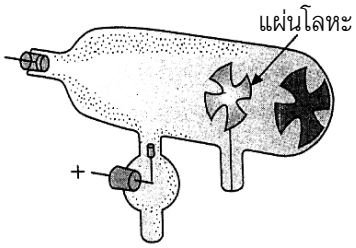
การค้นพบอิเล็กตรอน

เซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir Williams Crookes) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ (ในช่วงปี พ.ศ. 2375-2462) ทำการทดลองการนำกระแสไฟฟ้าในหลอดแก้วสุญญากาศที่โค้งงอเป็นมุมฉาก พบว่าเกิดสารเรืองแสงสีเขียวที่ผนังหลอดด้านในตรงข้ามกับขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าลบ แสดงว่าเกิดรังสีออกมาจากขั้วแคโทด จึงเรียกว่า รังสีแคโทด (Cathode Ray)



รูปแสดงวงจรไฟฟ้าแบบครูกส์

ในเวลาต่อมาได้ศึกษาถึงธรรมชาติของรังสีแคโทด พบว่าปกติรังสีแคโทดเคลื่อนเป็นเส้นตรง แต่จะเบี่ยงเบนทิศทางสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



รูปแสดงเงาที่เกิดจากรังสีแคโทด

การค้นพบอิเล็กตรอนโดยการทดลองของทอมสัน

เจ เจ ทอมสัน (J.J. Thomson) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ในปี พ.ศ. 2440 ใช้หลอดรังสีแคโทดหาอัตราส่วนประจุต่อมวล (q/m) ของอนุภาคได้เท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า รังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลและอิเล็กตรอน คือ ส่วนประกอบที่สำคัญของอะตอม

สรุปผลการทดลองของ Thomson

การหาอัตราส่วนของ q/m ในอนุภาคแคโทดแยกเป็นลำดับได้ดังนี้

1. หาอัตราเร็วประจุโดยให้ประจุวิ่งเป็นเส้นตรงในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะได้

$$F_E = F_B$$
$$Eq = qvB$$
$$v = \frac{E}{B}$$

2. การหาอัตราส่วน q/m สามารถหาได้ 2 แบบด้วยกัน คือ

2.1 โดยให้ประจุวิ่งในสนามแม่เหล็กอย่างเดียวทำการวัดหารัศมี R จะได้

$$F_E = \frac{mv^2}{R}$$

หรือ

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$
$$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$
$$= \frac{E}{B^2R}$$

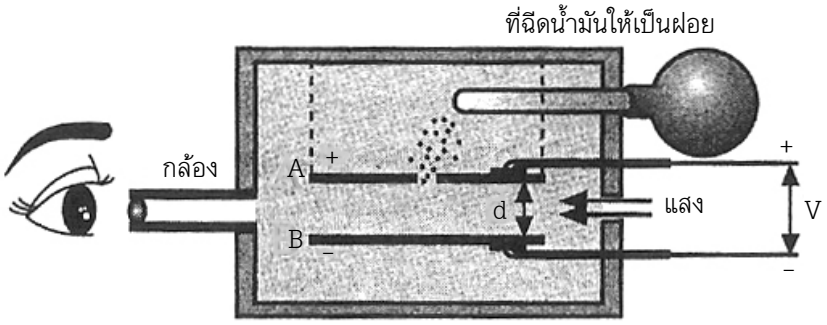
2.2 หาจากประจุวิ่งในความต่างศักย์เร่งประจุ

จาก

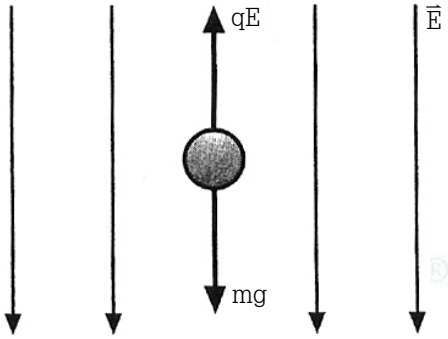
$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$
$$\frac{q}{m} = \frac{v^2}{2V}$$
$$= \frac{E^2}{2B^2V}$$

การหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนโดยการทดลองของมิลลิแกน

โรเบิร์ต เอ มิลลิแกน ทำการทดลองและหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนได้สำเร็จ โดยการวัดปริมาณประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันดังนี้



รูปแสดงเครื่องมือทดลองของมิลลิแกน



รูปแสดงสนามไฟฟ้าและแรงกระทำต่อหยดน้ำมัน

สรุป

1. หยดน้ำมันที่เคลื่อนที่ขึ้นไปด้วยความเร่ง แสดงว่ามีปริมาณประจุไฟฟ้าลบมาก จะได้ว่า

$$qE - mg = ma$$

เมื่อ q คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมัน (C)

E คือ ขนาดของสนามไฟฟ้า (V/m)

m คือ มวลของหยดน้ำมัน (kg)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

a คือ ขนาดความเร่งของหยดน้ำมัน (m/s^2)

2. หยดน้ำมันเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง แสดงว่ามีปริมาณประจุไฟฟ้าลบน้อย หรือมีประจุไฟฟ้าบวก

กรณีหยดน้ำมันมีปริมาณประจุไฟฟ้าเป็นลบ (สังเกตจากความเร่งของหยดน้ำมันจะน้อยกว่าค่า g)

$$mg - qE = ma$$

กรณีหยดน้ำมันมีปริมาณประจุไฟฟ้าเป็นบวก (สังเกตจากความเร่งของหยดน้ำมันจะมากกว่าค่า g)

$$mg + qE = ma$$

3. หยดน้ำมันที่ลอยนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในสนามไฟฟ้า แสดงว่าหยดน้ำมันมีประจุไฟฟ้าเป็นลบโดยแรง เนื่องจากสนามไฟฟ้าเท่ากับแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหยดน้ำมันพอดี

$$qE = mg$$

และ

$$q = \frac{mg}{E}$$

มิลลิแกน พบว่าปริมาณประจุที่วัดได้บนหยดน้ำมันเป็นจำนวนเท่าของจำนวนค่าน้อย 1.6×10^{-19} เสมอ จึงสรุปได้ว่า ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน 1 อนุภาคเท่ากับ -1.6×10^{-19} คูลอมบ์ และนิยมใช้สัญลักษณ์ (e) แทนประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

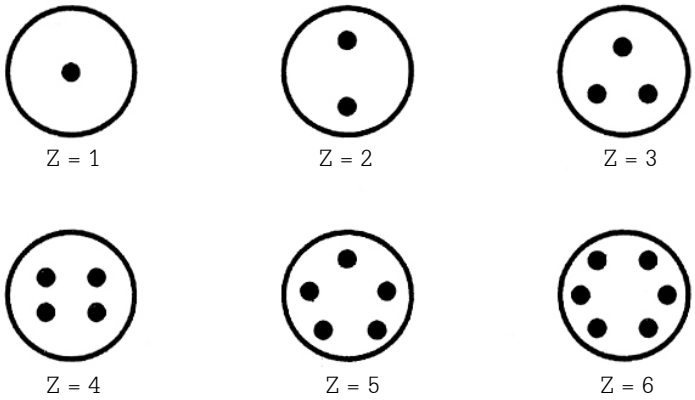
แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ในปี พ.ศ. 2447 ทอมสัน เสนอว่า อะตอมมีรูปร่างเหมือนทรงกลม มีประจุบวกกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วอะตอม โดยอิเล็กตรอน (ประจุลบ) คละอยู่ด้วย และมีจำนวนเท่ากับประจุบวก อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า อะตอมแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเพราะอิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

ข้อสังเกต ที่แบบจำลองอะตอมของทอมสันตอบไม่ได้ คือ

1. ทำไมประจุบวกรวมกันเป็นเนื้ออะตอมได้ทั้งที่ประจุบวกต้องออกแรงผลักกัน

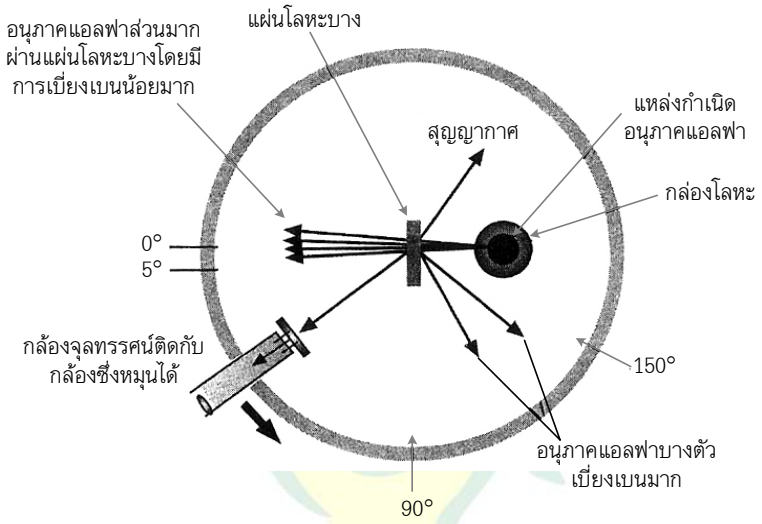
2. ถ้าอิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกจะให้สเปกตรัมแบบต่อเนื่องแต่จากการทดลอง พบว่าอะตอมให้สเปกตรัมแบบเส้น



รูปแสดงแบบจำลองของอะตอมของทอมสัน

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ด ทำการทดลองยิงรังสีแอลฟาให้ทะลุผ่านแผ่นโลหะบางๆ แล้ววัดการกระเจิงของรังสีแอลฟา พบว่าอนุภาครังสีแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นโลหะบาง โดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมากมีอนุภาคส่วนน้อยที่เบนไปและเบนไปเป็นมุมได้ถึงขนาด 90 องศาหรือมากกว่า 90 องศา



รูปแสดงเครื่องมือที่ไกเกอร์และมาร์สเดนใช้ตรวจสอบแนวคิดของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ดสรุปและเสนอแบบจำลองอะตอมว่า อะตอมประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวกรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลาง เรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมของมวลเกือบทั้งหมดของอะตอมโดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสด้วยระยะห่างจากนิวเคลียสมากเมื่อเทียบกับขนาดของนิวเคลียสนั้น

ปัญหาที่เกิดกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

1. เหตุใดอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบนิวเคลียสได้โดยไม่สูญเสียพลังงาน
2. เหตุใดประจุไฟฟ้าบวกหลายประจุจึงรวมกันอยู่ภายในนิวเคลียสได้ทั้งที่มีแรงผลักระหว่างประจุ

การทดลองด้านสเปกตรัม

สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส

เมื่อเราใช้เกรตติงส่องดูแก๊สร้อนในหลอดบรรจุแก๊สชนิดต่างๆ เราจะพบเห็นว่าสเปกตรัมของแก๊สร้อนชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นเส้นๆ ไม่ต่อเนื่องกัน แต่เส้นสว่างจะมีความยาวคลื่นเรียงกันเป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบ เรียกว่า อนุกรม (Series) ดังรูป

ความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนร้อนมี 5 อนุกรม โดยมีชื่อเรียกตามนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบสเปกตรัมแต่ละเส้นในอนุกรมนั้น และสามารถคำนวณหาค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมแต่ละเส้นในอนุกรมต่างๆ ได้โดยใช้สมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของสเปกตรัม (m)

R_H คือ ค่านิจของริดเบอร์ก = $1.09737 \times 10^7\ m^{-1}$

n_f คือ ตัวเลขจำนวนเต็มที่เท่ากับ 2

n_i คือ ตัวเลขจำนวนเต็มเริ่มตั้งแต่ 3, 4, 5, ...

ตารางแสดงอนุกรมของสเปกตรัมชุดต่างๆ ของไฮโดรเจน

ชื่ออนุกรม	ปีที่ค้นพบ	แทน n_i^2 ใน $\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$	ช่วงของรังสี
ไลมาน (Lyman)	1906–1914	1^2	อัลตราไวโอเลต (UV)
บัลเมอร์ (Balmer)	1885	2^2	แสงที่ตามองเห็นถึง UV
พาสเชน (Paschen)	1908	3^2	อินฟราเรด (IR)
แบรกเกต (Bracket)	1922	4^2	
ฟุนด์ (Pfund)	1924	5^2	

จากสมการของบัลเมอร์ เมื่อเราแทนค่า $n_f = 2$

$n_i = 3$ จะได้ $\lambda = 6562.8°A$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีแดง

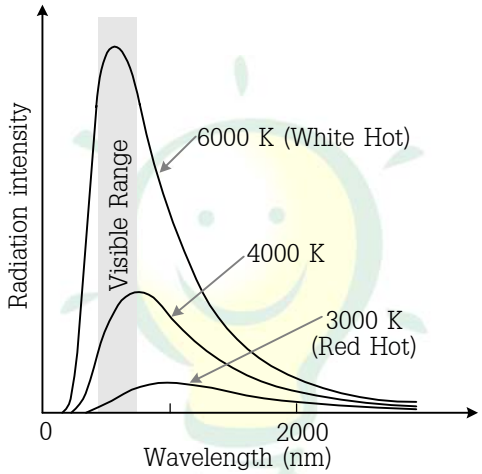
$n_i = 4$ จะได้ $\lambda = 4861.3°A$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน

$n_i = 5$ จะได้ $\lambda = 4340.5°A$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีม่วง

$n_i = 6$ จะได้ $\lambda = 4101.7°A$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีเหนือม่วง

การแผ่รังสีของวัตถุดำ

วัตถุทุกชนิดไม่ว่าจะร้อนหรือเย็นจะมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยทั่วไปเราเข้าใจว่าวัตถุร้อนเท่านั้นที่จะแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เพราะเรามักจะพบคลื่นแสงแผ่ออกมาจากวัตถุที่ร้อน เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ แสงจากการเผาถ่านไม้ หรือแสงจากไส้หลอดทังสเตน เป็นต้น แต่ความเป็นจริงแล้ววัตถุที่เย็นก็มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเช่นกัน เพียงแต่ความถี่ของคลื่นอยู่ในช่วงของแสงน้อยมาก ส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านความถี่ของคลื่นอินฟราเรด หากเรายืนอยู่ในห้องมืดร่างกายเรามีอุณหภูมิประมาณ 310 เคลวิน จะแผ่รังสีของแสงมาน้อยไม่สามารถทำให้ห้องสว่างได้ เพราะคลื่นที่แผ่ออกมาโดยส่วนใหญ่อยู่ในย่านอินฟราเรด เราเรียกวัตถุที่มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ว่า วัตถุดำ (Black Body)



รูปการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำ

จากรูปผิวดวงอาทิตย์อุณหภูมิ 6000 เคลวิน จะแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กในย่านของแสงออกมามีความเข้มสูงสุด ถ่านไม้อุณหภูมิ 4000 เคลวิน และไส้หลอดทังสเตนอุณหภูมิ 3000 เคลวิน จะแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านของคลื่นแสงน้อยลงมา

ปี ค.ศ. 1900 แพลงค์ได้สร้างภาพจำลองในการแผ่รังสีของวัตถุดำโดยถือว่าวัตถุดำประกอบด้วยอะตอมคู่มากมาย และอะตอมทุกคู่จะมีการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ เช่นเดียวกับการสั่นของมวลผูกปลายสปริง จึงทำให้มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดการสั่นของอะตอม จำนวนอะตอมในวัตถุ โดยมีขนาดของพลังงานเป็น E = hf, 2hf, 3hf, ... ซึ่งเราสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$E = nhf$$

n คือ เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวก โดย n = 1, 2, 3, ...

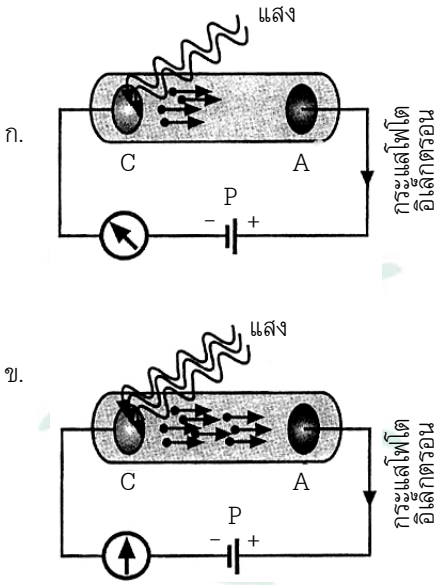
f คือ ความถี่ธรรมชาติการสั่นของอะตอมคู่ (Hz)

h คือ ค่านิจของแพลงค์ ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s)

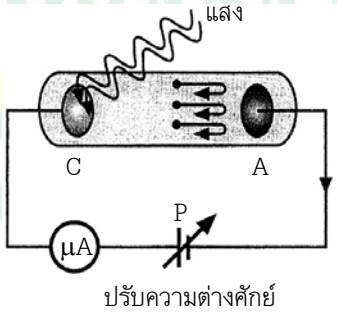
ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

เมื่อเราทดลองฉายแสงตกกระทบที่แผ่นโลหะ C ซึ่งเป็นแคโทด และมีแผ่นโลหะ A เป็นแอโนดในหลอดสุญญากาศ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากแผ่นโลหะ C ได้ เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

เพื่อศึกษาปริมาณอิเล็กตรอนและพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะ C โดยใช้วงจรไฟฟ้าไมโครแอมมิเตอร์ และความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_S) ดังรูป



รูปแสดงการวัดจำนวนโฟโตอิเล็กตรอน



รูปแสดงการวัดพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน

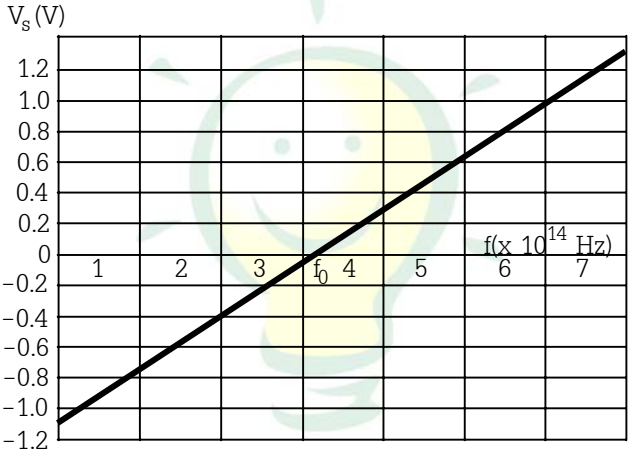
ผลศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ดังนี้

1. โฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นเมื่อแสงที่ตกกระทบโลหะมีความถี่ไม่น้อยกว่าค่าความถี่คงตัวค่าหนึ่ง เรียกว่า ค่าความถี่ขีดเริ่ม (f_0)

2. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น เมื่อแสงที่ใช้มีความเข้มแสงมากขึ้น

3. พลังงานจลน์สูงสุด E_k (max) ของอิเล็กตรอนไม่ขึ้นกับความเข้มแสง แต่ขึ้นกับค่าความถี่แสง

แสงมีสมบัติเป็นก้อนพลังงาน (Photon) เมื่อกระทบกับผิวโลหะจะถ่ายโอนพลังงานให้กับอิเล็กตรอนของโลหะทั้งหมด hf พลังงานส่วนหนึ่ง (hf_0) ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้ ซึ่งเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนของโลหะ เรียกว่า (Work Function) ใช้สัญลักษณ์ (W) และพลังงานที่เหลือเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน ซึ่งเท่ากับพลังงานที่ใช้หยุดยั้งอิเล็กตรอนนั้น (eV_s)



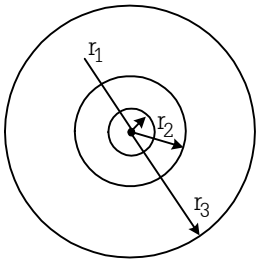
รูปแสดงการวิเคราะห์กราฟระหว่าง V_s กับ f

$$Ek_{max} = eV_s = hf - W$$

$$eV_s = hf - hf_0$$

$$V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \left(\frac{h}{e}\right)f_0$$

ทฤษฎีอะตอมของโบร์



1. อิเล็กตรอนจะวิ่งวนรอบนิวเคลียส โดยมีวงโคจรบางวงที่อิเล็กตรอนไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ทั้งนี้เพราะอิเล็กตรอนมีโมเมนตรัมเชิงมุม (mvr) คงตัวเป็นจำนวนเท่าของค่ามูลฐานค่าหนึ่ง คือ n

จะได้ว่า $r_n = a_0 n^2$

$r_n = 5.3 \times 10^{-11}\ n^2$ มีหน่วยเป็นเมตร

และ $v_n = \frac{2.18 \times 10^6}{n}$ มีหน่วยเป็นเมตร/วินาที

เมื่อ r_n คือ รัศมีวงโคจรอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนวงที่ n

a_0 คือ ค่าคงตัว เรียกว่า รัศมีของโบร์ = 5.3×10^{-11} เมตร

v_n คือ ความเร็วอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนวงที่ n

2. อิเล็กตรอนจะรับหรือปล่อยพลังงานออกมาเมื่อมีการเปลี่ยนวงโคจร พลังงานที่อิเล็กตรอนรับ หรือปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

นั่นคือ $\Delta E = |E_i - E_f|$

จะได้ว่า $h_f = E_i - E_f$

เมื่อ f คือ ความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนรับหรือปล่อยออกมา (Hz)

E_i คือ พลังงานของอิเล็กตรอนในวงจรก่อนการเปลี่ยนแปลง (J)

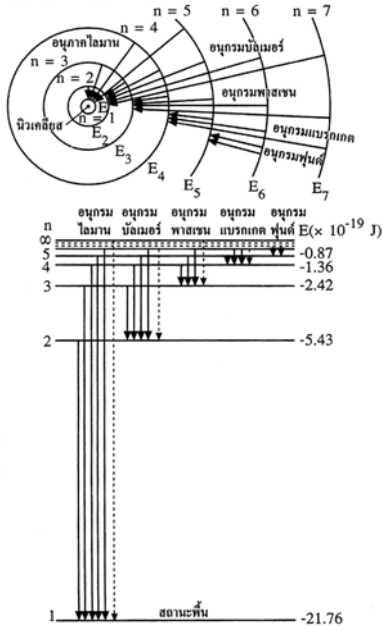
E_f คือ พลังงานของอิเล็กตรอนในวงจรหลังการเปลี่ยนแปลง (J)

สำหรับอะตอมของไฮโดรเจน $E_n = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{n^2}$ จูล เมื่อกำหนดให้พลังงาน 1.6×10^{-19} จูล เท่ากับพลังงาน 1 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV)

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2}\ \text{eV}$$

ระดับพลังงาน −13.6 eV เป็นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอะตอมไฮโดรเจนวงในสุด เรียกว่า สถานะพื้น (Ground State) ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้นหรือในวงโคจรที่ $n \geq 2$ เรียกสภาวะนี้ว่า สถานะกระตุ้น (Excited State)

อะตอมปกติอิเล็กตรอนจะมีพลังงานอยู่ในสถานะพื้น (Ground State) เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากภายนอกที่เหมาะสมจะขึ้นไปอยู่บนวงโคจรใหม่ตามระดับขั้นของพลังงาน เรียกว่า สถานะกระตุ้น (Excited State) ทันที (อิเล็กตรอนจะปฏิเสธการรับพลังงานที่มีปริมาณน้อยหรือเกินกว่าความเหมาะสมของขั้นพลังงาน) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นไม่ได้และจะกระโดดกลับลงมาที่สถานะพื้น โดยปล่อยควอนตัมของพลังงานออกมาที่มีความถี่และความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ กัน สามารถจัดเป็นอนุกรมของเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนได้ดังนี้



รูปแสดงการเกิดอนุกรมเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน

จากทฤษฎีของโบร์ แสดงว่าอะตอมของไฮโดรเจนมีวงโคจรอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสหลายวงโคจร ซึ่งอิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรจะต้องมีพลังงานต่างๆ ไม่ต่อเนื่องกัน ดังนี้

$n = \infty$ ——— $E_\infty = 0$

$n = 5$ ——— $E_5 = -0.87 \times 10^{-19}$ J

$n = 4$ ——— $E_4 = -1.36 \times 10^{-19}$ J

$n = 3$ ——— $E_3 = -2.42 \times 10^{-19}$ J

$n = 2$ ——— $E_2 = -5.43 \times 10^{-19}$ J

$n = 1$ ——— $E_1 = -21.76 \times 10^{-19}$ J

การทดลองของฟรังก์และเฮิรตซ์

1. ฟรังก์และเฮิร์ตซ์ได้ทำการทดลองเรื่องการชนกันของอะตอมต่างๆ โดยใช้ประจุอิเล็กตรอนกับอะตอมของปรอท

2. เมื่ออิเล็กตรอนชนกับอะตอมของปรอทจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากอิเล็กตรอนไปยังอะตอม และพลังงานที่อะตอมได้รับจะถ่ายทอดต่อไปยังอิเล็กตรอนในอะตอมอีกต่อหนึ่ง ถ้าพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นอิสระแสดงว่าเกิดการ Ionization

3. จากการทดลองของฟรังก์และเฮิรตซ์ พบว่า

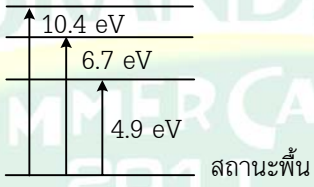
3.1 ถ้าพลังงานจลน์ที่อิเล็กตรอนต่ำกว่า 4.9 eV (ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนต่ำกว่า 4.9 eV) การชนระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอมของปรอทจะเป็นการชนแบบยืดหยุ่น (Elastic Collision) คือ E_k ก่อนชนเท่ากับ E_k หลังชนนั่นแสดงว่า อิเล็กตรอนไม่สามารถทำให้อะตอมของปรอทเปลี่ยนระดับพลังงานจาก Ground State ได้ เพราะอะตอมของปรอทไม่สามารถดูดกลืนพลังงานจลน์ที่ต่ำกว่า 4.9 eV ได้

3.2 เมื่อเพิ่มพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนเป็น 4.9 eV ทำให้อะตอมของปรอทเปลี่ยนระดับพลังงานจาก Ground State (E_1) ไปยัง Excited State (E_2) ครั้งแรกสุดของการกระตุ้นได้

3.3 ถ้าเพิ่มพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนขึ้นไปอีกก็จะกระตุ้นอะตอมของปรอทอะตอมที่สอง และอะตอมที่สามได้อีกเรื่อยๆ แต่ทุกอะตอมของปรอทยังคงต้องการพลังงานจลน์ 4.9 eV เหมือนเดิม

3.4 ถ้าอะตอมของปรอทที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในระดับพลังงาน E_2 และจะเปลี่ยนระดับพลังงานเข้าสู่ระดับพลังงาน Ground State (E_1) จะต้องปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Photon มีพลังงานเท่ากับ 4.9 eV

3.5 ฟรังก์และเฮิร์ตซ์ สรุปการทดลองว่า ในการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมจะดูดกลืนพลังงานได้เพียงบางจำนวนเท่านั้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระดับพลังงานของอะตอมไม่ต่อเนื่องกันเป็นไปตามทฤษฎีของโบร์ คือ 4.9, 6.7 , และ 10.4 eV ดังรูป



รังสีเอกซ์ (X-Ray)

เรินต์เกน (Wilhelm Konrad Roentgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้พบรังสีเอกซ์โดยบังเอิญ ในปี พ.ศ. 2438 (ค.ศ. 1895) ในขณะที่กำลังทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทด เรินต์เกน คลุมหลอดทดลองด้วยกระดาษดำในห้องทดลองที่มืด ขณะที่ประจุเคลื่อนที่ในหลอด เขาสังเกตเห็นแสงเรืองขึ้นบริเวณโต๊ะที่ทำการทดลอง แสดงว่าจะต้องมีรังสีบางชนิดที่มองไม่เห็นและสามารถทะลุออกมาจากหลอดแคโทด ซึ่งแสดงว่ามีอำนาจทะลุทะลวงสูง รังสีนี้เขาตั้งชื่อว่า X-Ray

คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

1. ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
2. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก
3. มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
4. ทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนได้
5. ทำให้สารเรืองแสงเกิดสารเรืองแสงได้
6. ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์ม
7. รังสีเอกซ์มีอันตรายและทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้
8. เมื่อรังสีเอกซ์กระทบบนแผ่นโลหะสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาด้วยความเร็ว $6 \times 10^5 \rightarrow 8.3 \times 10^5$ เมตร/วินาที

การเกิดรังสีเอกซ์

การเกิดรังสีเอกซ์เกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนอะตอมของเป้าทังสเตนแล้วหยุด จะปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุด หรือเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ช้าลงจะปลดปล่อยพลังงานค่าต่างๆ เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนอะตอมของเป้าแล้วหยุด พลังจลน์ทั้งหมดของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของรังสีเอกซ์ ดังนั้น

$$E_{k_{max}} = eV = hf_{max}$$

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

$$\lambda_{max} = \frac{hc}{eV}$$

เมื่อ λ_{min} = ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (m)

h = ค่าคงตังของแพลงค์ = 6.6×10^{-34} J/S

e = ประจุของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} C

V = ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งประจุ = 200×10^3 V

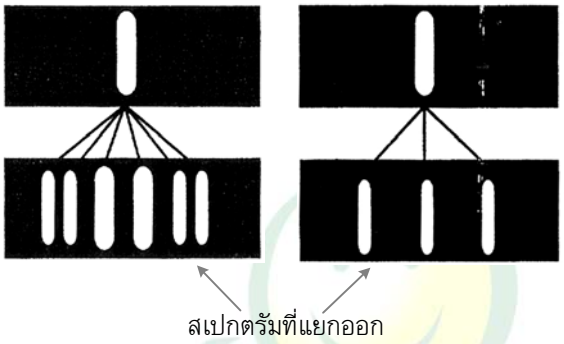
C = ความเร็วแสง = 3.0×10^8 m/s

ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. ทฤษฎีอะตอมของโบร์สามารถอธิบายถึงการจัดเรียงอิเล็กตรอน และสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนได้ แต่ไม่สามารถอธิบายการจัดเรียงอิเล็กตรอนและสเปกตรัมของอะตอมอื่นๆ ได้

2. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ไม่สามารถอธิบายได้ว่าอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสด้วยความเร่ง เพราะสาเหตุใดไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา

3. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ไม่สามารถอธิบายได้ว่า เพราะสาเหตุใดอะตอมที่อยู่ในสนามแม่เหล็กเส้นสเปกตรัมเส้นหนึ่งๆ แยกออกเป็นหลายเส้นได้ ดังรูป



ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค (Ware-Particle Dualify)

1. เราทราบว่าแสงแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่น เพราะแสดงการเลี้ยวเบนและการแทรกสอด (Diffraction and Interence)

2. จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ไอน์สไตน์คิดว่า โฟตอนเป็นอนุภาค

3. มิลลิแกนทดลองและสรุปว่า แสงเป็นอนุภาค

4. เดอบรอยล์ (de Broglie) ให้แนวคิดว่า “ถ้าแสงแสดงคุณสมบัติคู่เป็นได้ทั้งอนุภาคและคลื่นแล้วสสารทั้งหลายแสดงคุณสมบัติของคลื่นได้เนื่องจากสสารประกอบด้วยอนุภาค”

5. แนวคิดของเดอบรอยล์ เกี่ยวกับอิเล็กตรอน

จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับมวลของไอน์สไตน์

$$E = mc^2 \text{ และ } E = hf$$

เดอบรอยล์ หาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและความยาวคลื่นของแสงได้ดังนี้

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

เมื่อ P คือ โมเมนตัมของโฟตอน (N.s)

λ คือ ความยาวคลื่นของโฟตอน (m)

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของอนุภาค (m)

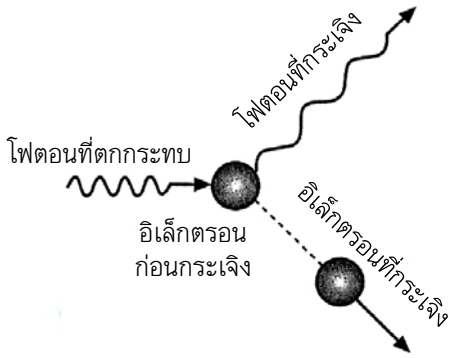
m คือ มวลของอนุภาค (kg)

v คือ ความเร็วของอนุภาค (m/s)

ความยาวคลื่นของอนุภาคหรือความยาวคลื่นสสารนี้ เรียกว่า ความยาวคลื่นเดอบรอยล์

ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

คอมป์ตัน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์และขนาดของมุมการกระเจิงกับความยาวคลื่นกระเจิงของรังสีเอกซ์ จากการฉายรังสีเอกซ์ให้ไปกระทบกับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ พบว่า ความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์ที่กระเจิงออกมาแปรผันกับมุมที่กระเจิง แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่กระทบกับอิเล็กตรอน



จากปรากฏการณ์อธิบายโดยอาศัยหลักแนวคิดของไอน์สไตน์ได้อย่างเดียวว่า การชนระหว่างรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแกรไฟต์เป็นการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค โดยเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังนี้

1. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นเท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบยืดหยุ่น

2. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นไม่เท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น

สมมติฐานของเดอบรอยล์

ในปี ค. ศ. 1924 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อหลุยส์ เดอบรอยล์ (Louis de Broglie) ได้ให้ความเห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นแสงและอนุภาค กล่าวคือในกรณีที่แสงมีการเลี้ยวเบนและการสอดแทรก แสดงว่าขณะนั้นแสงประพฤติตัวเป็นคลื่น สำหรับกรณีแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แสดงว่าแสงเป็นอนุภาค ฉะนั้นสสารทั่วไปที่มีคุณสมบัติเป็นอนุภาคก็น่าจะมีคุณสมบัติทางด้านคลื่นด้วย เดอบรอยล์ได้พยายามหาความยาวคลื่นของคลื่นมวลสาร โดยทั่วไปเริ่มจากความยาวคลื่นของแสงก่อน ดังต่อไปนี้

ถ้าแสงมีความถี่ f จะให้พลังงานออกมาเป็นอนุภาคเรียกว่า โฟตอน ซึ่งมีขนาด

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

จากทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ มวล m ถ้าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจะมีค่าเท่ากับ mc^2 ดั้นนั้นถ้าเราต้องการหามวลของโฟตอน เราสามารถหาได้จากสมการของไอน์สไตน์

จาก $E = mc^2$

ให้โฟตอนขนาด hf มีมวลเท่ากับ m

แทนค่าในสมการไอน์สไตน์จะได้ $hf = mc^2$

$$\frac{hc}{\lambda} = mc^2$$

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

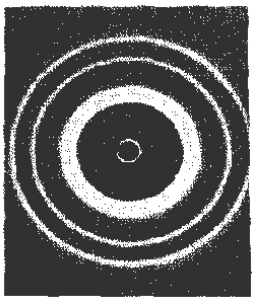
แต่ mc = โมนเมนตัมของโฟตอน = P

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{mc} = \frac{h}{P}}$$

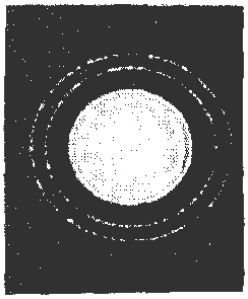
เดอบรอยล์มีความเห็นว่าเมื่อสมการข้างบนเป็นจริงสำหรับกรณีของโฟตอน ก็ควรจะเป็นจริงกับอนุภาคด้วย ดังนั้นอนุภาคที่มีมวล m วิ่งด้วยความเร็ว V ก็น่าจะประพฤติตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่น λ ได้เช่นกัน นั่นคือ ความยาวคลื่นของอนุภาคของมวล m ที่วิ่งด้วยอัตราเร็ว V ย่อมมีค่า

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$$

นอกจากนี้แนวความคิดของเดอบรอยล์ ยังได้รับการสนับสนุนจากการทดลองของเดวิสสันและเกอร์เมอร์ โดยการยิงลำอิเล็กตรอนผ่านผลึก ซึ่งมีอะตอมเรียงกันเป็นระเบียบ ปรากฏว่าลำอิเล็กตรอนเกิดการเลี้ยวเบนขึ้น จึงแสดงว่าขณะนั้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นคลื่น



รูปแสดงการเลี้ยวเบนของลำอิเล็กตรอน ที่ผ่านผลึกทองคำ



รูปแสดงการเลี้ยวเบนของลำอิเล็กตรอน ที่ผ่านแผ่นอะลูมิเนียม

ข้อสังเกต

1. คลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเรียก คลื่นอนุภาค
   เราหาความยาวคลื่นได้จาก $\lambda = \frac{h}{mv}$
2. คลื่นที่เกิดจากการเร่งอิเล็กตรอนเข้าชนชนโลหะแข็งเรียก คลื่นรังสีเอกซ์ เป็นโฟตอน
   เราหาความยาวคลื่นได้จาก $\lambda = \frac{hc}{eV}$

กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics)

1. Quantum Mechanics เป็นวิชาสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับอนุภาคที่มีขนาดเล็กๆ เท่ากับอะตอม เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เพราะกฎของนิวตันไม่สามารถให้รายละเอียดได้

2. Quantum Mechanics เป็นศาสตร์ของ Matter Waves ที่ให้หลักสมบูรณ์ในการศึกษาเรื่องอะตอมในปัจจุบัน

3. Quantum Mechanics จะกล่าวถึงโอกาสที่จะเป็นไปได้ ในการที่จะบอกว่าอิเล็กตรอนอยู่ที่ไหน หรือจะพบได้ที่ไหนที่บริเวณหนึ่งๆ

4. ในการคิดค้นกลศาสตร์ควอนตัม โซรดิงเจอร์ (Evwin Schrodinger) นักฟิสิกส์ชาวออสเตรียได้คิดสมการของคลื่น โดยอาศัยหลักการของ de Broglie โดยใช้เทอมความยาวช่วงคลื่นของ ($\lambda = h/p = h/mv$) ซึ่งสมการนี้เรียกว่า Schrodinger Equation สมการของโซรดิงเจอร์ มีความสำคัญในการอธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอม, โมเลกุล และในผลึกได้อย่างถูกต้อง และสามารถพิสูจน์ได้ว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไม่ต่อเนื่องกัน

หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้ (Uncertainty Principle)

1. ในการพิจารณาอิเล็กตรอนตามหลักทวิภาพของคลื่นและอนุภาคพบว่า ถ้าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาค เราคิดถึงอนุภาคในลักษณะที่มีขนาดแน่นอนและขนาดเล็กมาก ถ้าคิดว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่น ขนาดและตำแหน่งของคลื่นย่อมกระจายอยู่ในอาณาเขตอันหนึ่ง แต่ไม่สามารถบอกได้ชัดว่าอยู่ที่ใด

2. ในการศึกษา Quantum Mechanics ไฮเซนเบอร์กได้ตั้งหลัก ความไม่แน่นอน กล่าวคือ ตำแหน่งและโมเมนตัมของอนุภาคไม่สามารถที่จะบอกได้ว่าอนุภาคอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง และมีค่าโมเมนตัมที่แน่นอนเท่าใด หลักการนี้ปรากฏว่าใช้ได้ทั้งสสารและโฟตอน กล่าวโดยสรุปหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบอร์ก เป็นความไม่แน่นอนทางตำแหน่ง และทางโมเมนตัมของอนุภาค เขียนเป็นสูตรได้

$$\Delta x \cdot \Delta P \geq \bar{h}$$

เมื่อ Δx คือ ความไม่แน่นอนในการบอกตำแหน่ง (m)

ΔP คือ ความไม่แน่นอนในการบอกโมเมตัม (kg.m/s)

$\bar{h}$ คือ $\frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34}$ J.s

โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม

ตามหลักความไม่แน่นอน เราไม่สามารถระบุได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสอยู่ในตำแหน่งใดได้แน่นอน เราบอกได้เพียงแต่โอกาสจะพบอิเล็กตรอน ณ ตำแหน่งต่างๆ ว่าเป็นเท่าใดเท่านั้น ดังนั้นโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน ณ ตำแหน่งต่างๆ ว่าเป็นเท่าใดเท่านั้น ดังนั้นโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสจึงมีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกทรงกลมห่อหุ้มนิวเคลียสในระดับชั้นพลังงานต่างๆ ดังรูป

n = 1 n = 2

รูปแสดงกลุ่มหมอกของอะตอมไฮโดรเจนที่ระดับพลังงานต่างๆ

แนวคิดของกลศาสตร์ควอนตัมที่มีโอกาสจะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีลักษณะเป็นกลุ่มหมอก สามารถอธิบายความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีของโบร์ ถึงการแยกเส้นสเปกตรัมหนึ่งเส้นเป็นหลายเส้น เมื่ออะตอมอยู่ในสนามแม่เหล็กได้

จะเห็นได้ว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไนโตรเจนในระดับต่างๆ จะได้จากกลศาสตร์ควอนตัมสอดคล้องกับทฤษฎีของโบร์ แต่อะตอมใหญ่ๆ ระดับพลังงานที่ได้จากทฤษฎีทั้งสองต่างกัน แต่ผลที่ได้จากกลศาสตร์ควอนตัมถูกต้องกว่า

เลเซอร์ (Laser)

เลเซอร์ เป็นแสงความเข้มสูงที่มีความถี่เดียวและเฟสเดียวกัน

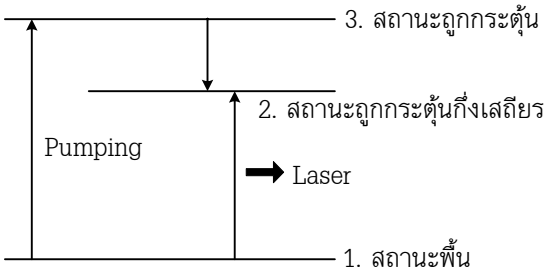
หลักการ

1. ให้อะตอมของสารถูกกระตุ้นโดยพลังงานภายนอก เช่น แสง ไฟฟ้า ให้พลังงานสูงขึ้นไปยังสถานะถูกกระตุ้นที่ไม่เสถียร (3)

2. อิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงานทันทีในรูปพลังงานแสงที่ไม่เป็นแสงอาพันธ์ แล้วตกลงมาสู่สถานะถูกกระตุ้น (2) เรียกว่า สถานะกึ่งเสถียร (Meta-Stable State)

3. อิเล็กตรอนจากสถานะถูกกระตุ้น (2) ใช้เวลา (1) ปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงอาพันธ์

กลไกในเครื่องเลเซอร์ประกอบด้วยกระจกพิเศษ 2 บาน (บานหนึ่งสะท้อน 100% อีกบานหนึ่งสะท้อนไม่ถึง 100% โดยให้แสงทะลุผ่านได้บ้าง) ทำการสะท้อนแสงกลับไปมาในเครื่องกระตุ้นให้อะตอมอื่นที่อยู่ในสถานะ (2) ปลดปล่อยแสงอาพันธ์ออกมาเสริมกันในทิศทางเดียวกันที่มีความเข้มสูง เรียกว่า เลเซอร์ (Laser)



รูปแสดงสถานะทั้งสามที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเลเซอร์

คลื่นเลเซอร์ที่เกิดขึ้นจะมีหลายชนิดและหลายแบบ เช่น คลื่นเลเซอร์จากก๊าซผสมของฮีเลียมกับนิออน คลื่นเลเซอร์จากอิออนของก๊าซอาร์กอน คลื่นเลเซอร์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยทั่วไปคลื่นเลเซอร์จะมีกำลังอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10^{-3}–10^{6} วัตต์ เราจึงใช้คลื่นเลเซอร์เพื่อประโยชน์ในหลายๆ ด้านด้วยกัน เช่น ใช้ในด้านดนตรี ได้แก่ แผ่นเลเซอร์ดิสซ์, ใช้คลื่นเลเซอร์ในการเชื่อมโครงรถยนต์, ใช้แสงเลเซอร์ในการวัดระยะทางในงานสำรวจจะให้ค่าที่มีความแม่นยำสูง, ใช้คลื่นเลเซอร์ในการสื่อสารทางโทรศัพท์ระยะไกลๆ, ใช้คลื่นเลเซอร์ในการศึกษาโครงสร้างอะตอมของธาตุต่างๆ ในการแพทย์, ใช้แสงเลเซอร์ในการรักษาโรคกระดูก ในการอุดฟัน และใช้ในการรักษาตาทำให้คนสายตายาวและสายตาสั้นไม่ต้องใส่แว่น

ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมิลลิแกน เมื่อใช้สนามไฟฟ้ามีทิศขึ้น ขนาด 1.96×10^{4} นิวตันต่อคูลอมบ์ ทำให้หยดน้ำมันมวล 6.5×10^{-16} กิโลกรัมหยุดนิ่ง

ก. จงคำนวณว่าหยดน้ำมันที่ได้รับหรือเสียอิเล็กตรอนไปกี่ตัว

ข. ถ้าแผ่นโลหะขนาน 2 แผ่นอยู่ห่างกัน 0.05 เมตร ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 เป็นเท่าใดจึงจะได้ค่ากระแสไฟฟ้าดังกล่าว (ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ และความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9.8)

เมื่อ q คือ ประจุไฟฟ้าของหยดน้ำมัน m คือ มวลของหยดน้ำมัน 6.5×10^{-16} กิโลกรัม g คือ 9.8 เมตร/วินาที

วิธีทำ จากสูตร $q = mg/E$

$= 6.5 \times 10^{-16} \times 9.8/1.96 \times 10^{4}$

$= 3.25 \times 10^{-19}$ c

อิเล็กตรอน 1 ตัว เท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

ฉะนั้น $3.25 \times 10^{-19}/1.6 \times 10^{-19} = 2$ ตัว

$q = mg/E$ และ $E = V/d$

ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นขนานทั้งสองหาได้จาก

$E = V/d$ และ $V = Ed$ เมื่อ V คือ ความต่างศักย์มีหน่วยเป็นโวลต์ E คือ สนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ แทนค่า $V = (1.96 \times 10^{4})(0.05) = 0.0980 \times 10^{4}$ V = 980 V

ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะขนานทั้งสองเท่ากับ 980 โวลต์

ตัวอย่างที่ 2 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์หลอดหนึ่งมีความต่างศักย์ระหว่างแอโนดกับคาโทด 11000 โวลต์ รังสีเอกซ์ที่ได้จะมีความยาวคลื่นที่**สั้นที่สุด**เท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

วิธีทำ จากสูตร $\lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$

$$= \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 8^{8}}{1.6 \times 10^{-19} \times 11000} \text{ m}$$

$$= 1.125 \times 10^{-10}$$

$$= 0.1125 \text{ nm}$$

ดังนั้นรังสีเอกซ์ที่ได้จะมีความยาวคลื่นที่**สั้นที่สุด** 0.1125 nm

ตัวอย่างที่ 3 เครื่องมือผลิตรังสีเอกซ์เครื่องหนึ่งมีความต่างศักย์ระหว่างแคโทดและเป้าเป็น 18000 โวลต์ ความยาวคลื่นที่**สั้นที่สุด**ของรังสีเอกซ์ที่ได้เท่าใด

วิธีทำ จากสูตร $\lambda_{min} = \frac{1240}{V} \text{ nm}$

$$= \frac{1240}{18000}$$

$$= 0.069 \text{ นาโนเมตร}$$

$$= 0.069 \times 10^{-9} \text{ เมตร}$$

$$= 6.9 \times 10^{-11} \text{ เมตร}$$

ดังนั้นความยาวคลื่นที่**สั้นที่สุด**เท่ากับ 6.9×10^{-11} เมตร

ตัวอย่างที่ 4 ความยาวคลื่นของเส้นแรกและเส้นสุดท้ายสำหรับอนุกรมไลแมน (Lyman Seris) ของไฮโดรเจนห่างกันกี่เซนติเมตร

สำหรับอนุกรมไลแมน (Lyman Seris) $n_1 = 1$ และเส้นแรก $n_2 = 2$

$$\frac{1}{\lambda} = 109678 \text{ cm}^{-1}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$

$$= 82259 \text{ cm}^{-1}$$

$$= 1.22 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

สำหรับอนุกรมไลแมน (Lyman Seris) เส้นสุดท้าย $n_2 = \infty$

$$\frac{1}{\lambda} = 109678 \text{ cm}^{-1}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right)$$

$$= 109678 \text{ cm}^{-1}$$

ความยาวคลื่นห่างกัน $= 9.12 \times 10^{-6}$ cm

ตัวอย่างที่ 5 เม็ดทรายหนึ่งมีมวล 0.000010 กรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 m/s ความยาวคลื่นของเม็ดทรายนี้มีค่าเท่าใด

กำหนด h = ค่าคงตัวของแพลงค์ = 6.63×10^{-34} J/S (g cm^2/sec)

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.00001 \times 1}$$

$$= 6.63 \times 10^{-22} \text{ cm}$$

ตัวอย่างที่ 6 จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน พบว่าชุดความถี่ของเส้นสเปกตรัมในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่านั้นมีชื่อเรียกว่าอนุกรมอะไร

ก. อนุกรม Lyman ข. อนุกรม Balmer

ค. อนุกรม Paschen ง. อนุกรม Brackett

ตอบ ข. อนุกรมชุดของ Balmer มีอยู่ 4 เส้น

ตัวอย่างที่ 7 ในการกระตุ้นให้อะตอมของไฮโดรเจนที่มีระดับพลังงาน**ต่ำสุด** (−13.6 eV) ไปอยู่ที่ระดับพลังงาน n = 4 สเปกตรัมเส้นที่มีความยาว**คลื่นสั้นที่สุด**จะมีพลังงานเท่าใด

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

$$E_4 = \frac{-13.6}{4^2}$$

$$= -0.85 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{(4\rightarrow1)} = |-0.85 - (-13.6)|$$

$$= 12.75 \text{ eV}$$

ตัวอย่างที่ 8 ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน**ต่ำสุด**เท่ากับ −13.6 eV ถ้าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้น และกลับสู่สถานะพื้นที่มีพลังงาน**ต่ำสุด** โดยการปล่อยโฟตอนออกมาด้วยพลังงาน 10.20 eV แสดงว่า อะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปที่ระดับพลังงานที่ n เท่ากับเท่าใด

$$|E_n - E_1| = 10.20 \text{ eV}$$

$$|E_n + 13.6| = 10.20 \text{ eV}$$

$$E_n = 3.4 \text{ eV}$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

$$n^2 = \frac{-13.6}{-3.4}$$

$$= 4$$

$$n = 2$$

ตัวอย่างที่ 9 ความยาวคลื่นสเปกตรัมของอะตอมไฮโรเจนเส้นแรก (ที่มีความยาวคลื่น**มากที่สุด**) ในอนุกรมบัลเมอร์ 656 นาโนเมตร โฟตอนที่สามารถทำให้อะตอมไฮโดรเจนจากสถานะพื้นฐานแตกตัวเป็นไอออนได้พอดีควรจะต้องมีความยาวคลื่นเท่าใด

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{3\to2}} = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$$

$$= \frac{5R_H}{36} \quad ...(1)$$

$$\frac{1}{\lambda_{\infty\to1}} = R_H\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right)$$

$$= R_H \quad ...(2)$$

$$\frac{\lambda_{\infty\to1}}{\lambda_{3\to2}} = \frac{5}{36}$$

$$\lambda_{\infty\to1} = \frac{5}{36} \times 656$$

$$= 91.11 \text{ nm}$$

ตัวอย่างที่ 10 รังสีเอกซ์เมื่อถูกยิงผ่านก้อนผลึก ซึ่งอะตอมมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ขึ้นอย่างมีระเบียบ และนำมาถึงการคำนวณหาระยะระหว่างอะตอมได้ ทั้งนี้เนื่องจาก

ก. รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงในช่วง 1016–1022 เฮิรตซ์ จึงมีพลังงานสูง ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน

ข. รังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นประมาณ 10 เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดระยะห่างระหว่างแถวอะตอมในผลึก

ค. รังสีเอกซ์ถูกสร้างขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอิเล็กตรอนของเป้าโลหะ

ง. รังสีเอกซ์สามารถเคลื่อนที่ทะลุผ่านสิ่งกีดขวางไม่ว่าหนาหรือบางได้

ตอบ ข.

เมื่อยิงรังสีเอกซ์ผ่านก้อนผลึกจะเกิดการเลี้ยวเบน และการเลี้ยวเบนจะเด่นชัดเมื่อระยะห่างของอะตอมในผลึกมีค่าประมาณความยาวคลื่น

ตัวอย่างที่ 11 ระดับพลังงานชั้นในของอิเล็กตรอนในหลอดเป่าของรังสีเอกซ์เท่ากับ -1.1×10^{-14} จูล ถ้าอิเล็กตรอนนี้ถูกชนหลุดออกไปจะเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวมีความยาวคลื่น 2.0×10^{-11} เมตร รังสีเอกซ์เฉพาะตัวนี้เกิดจากอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานกี่จูล กำหนดให้ค่าคงตัวพลังค์เท่ากับ 6.6×10^{-34} จูลต่อวินาที ความเร็วแสงในสุญญากาศเท่ากับ 3.0×10^{8} เมตร/วินาที

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= |E_n - E_1|$$

$$\frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{2 \times 10^{-11}} = |E_n - 9 - 1.1 \times 10^{-14}|$$

$$E_n = -1.1 \times 10^{-15} \text{ J}$$

ตัวอย่างที่ 12 ในการทดลองของฟรังก์และเฮิรตซ์ถ้าเราใช้หลอดทดลองที่บรรจุไฮโดรเจนแทนหลอดที่บรรจุปรอท จะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าอย่าง**น้อยที่สุด**เท่าใดในการเร่งอิเล็กตรอนเพื่อให้เกิดการชนแบบไม่ยืดหยุ่นกับอะตอมไฮโดรเจน (กำหนดให้ระดับพลังงานในหน่วย eV ของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนในหน่วย eV ของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนเรียงจากวงในสุดเป็น -13.59, -3.40, -1.51, ..., 0 ตามลำดับ)

$$qV_{lowest} = |E_n - E_1|$$

$$eV_{lowest} = |-13.59 - (-3.40)|$$

$$V_{lowest} = 10.19 \text{ V}$$

BRAND'S® SUMMER CAMP 2011

ฟิสิกส์นิวเคลียร์ และกัมมันตภาพรังสี

มวลอะตอมและพลังงาน

เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กมาก ในการวัดมวลใน 1 หน่วยอะตอม (Atomic Mass Unit) แทนด้วย u โดยใช้มวลของคาร์บอน-12 เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ หาค่ามวลอะตอมอื่นๆ โดยที่มวล 1 u มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{12}$ ของมวลคาร์บอน-12 จำนวน 1 อะตอม เขียนได้ว่า

$$1\ u = \frac{1}{12} \text{ ของมวลคาร์บอน-12 จำนวน 1 อะตอม}$$

$$= \frac{1}{12}\left(\frac{12}{6.02 \times 10^{23}}\right) \text{ กรัม}$$

$$= 1.66042 \times 10^{-27} \text{ กิโลกรัม}$$

จากทฤษฎีของไอน์สไตน์กล่าวว่า มวลสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ตามความสัมพันธ์

$$E = mc^2$$

แทนค่าจะได้ $(1.66042 \times 10^{-27}\ \text{kg})(3 \times 10^{8}\ \text{m/s}) = 1.49 \times 10^{-10}\ \text{J}$

โดยที่ $1.6 \times 10^{-19} = 1$ eV (อิเล็กตรอนโวลต์)

$$E = \frac{1.49 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

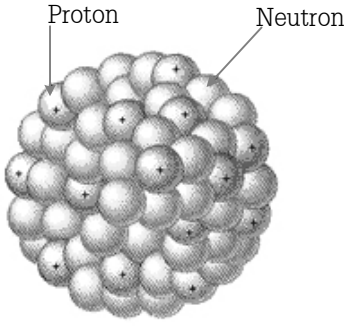
$$= 931 \times 10^{6}$$

$$= 931 \text{ MeV}$$

ดังนั้นจะได้ $1\ u = 931$ MeV ...(1)

โครงสร้างของนิวเคลียส

ภายในอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอน ซึ่งภายในนิวเคลียสมีอนุภาคหลักอยู่ 2 ชนิด คือ โปรตอนและนิวตรอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงอนุภาคภายในนิวเคลียส

โดยอนุภาคทั้งสามในอะตอมเป็นดังนี้

1. โปรตอนมีประจุบวก โดยขนาดของประจุเท่ากับ 1.6×10^{-19} C และโดยมีมวลนิ่ง 1.67252×10^{-27} kg หรือมีค่าเท่ากับ 1.007277 u สัญลักษณ์ของโปรตอนแทนด้วย ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$

2. นิวตรอนมีอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ไม่มีประจุ และโดยมีมวลนิ่ง 1.67482×10^{-27} kg หรือมีค่าเท่ากับ 1.008665 u สัญลักษณ์ของนิวตรอนแทนด้วย ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$

3. อิเล็กตรอนมีประจุลบ โดยขนาดของประจุเท่ากับ 1.6×10^{-19} 19 C และโดยมีมวลนิ่ง 9.1×10^{-31} kg หรือมีค่าเท่ากับ 0.000548 u สัญลักษณ์ของอิเล็กตรอนแทนด้วย ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

คำจำกัดความต่าง ๆ ที่ควรรู้

1. นิวคลีออน (Nucleon) หมายถึง อนุภาคที่รวมกันกันเป็นนิวเคลียส เพราะว่าในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน ดังนั้นอนุภาคทั้งสองต่างก็เป็นนิวคลีออน

2. เลขมวล (Atom Mass Number) หมายถึง จำนวนนิวคลีออนทั้งหมดที่อยู่ในนิวเคลียส สัญลักษณ์ของเลขมวลแทนด้วย A

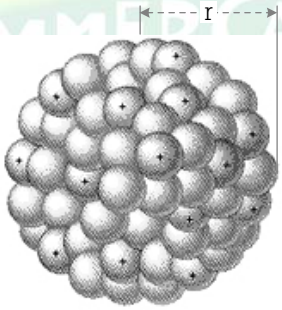
3. เลขอะตอม (Atomic Number) หมายถึง จำนวนโปรตอนที่มีอยู่ในนิวเคลียส แต่เนื่องจากอะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า ดังนั้นจำนวนโปรตอนจึงเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน สัญลักษณ์ของเลขอะตอมแทนด้วย Z

4. นิวไคลด์ (Nuclide) หรือธาตุ หมายถึง นิวเคลียสที่มีสมบัติบางอย่างเหมือนกัน สัญลักษณ์ของนิวไคลด์แทนด้วย ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ โดยที่ X แทนนิวไคลด์ใดๆ A แทนเลขมวล Z แทนเลขอะตอม เช่น ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$

5. ไอโซโทป (Isotope) หมายถึง นิวไคลด์หรือธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากันแต่มีเลขมวลต่างกัน เช่น ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$, ${}^{13}_{6}\mathrm{C}$, ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$

รัศมีของนิวเคลียส

จากข้อสรุปของนักวิทยาศาสตร์พบว่า นิวเคลียสมีลักษณะเป็นทรงกลมและขนาดของนิวเคลียสขึ้นอยู่กับจำนวนนิวคลีออนที่รวมกันอยู่ในนิวเคลียสนั้น



รูปที่ 2 แสดงรัศมีนิวเคลียส

ถ้าให้ r แทนรัศมีของนิวเคลียสที่มีเลขมวลเป็น A พบว่า $r \propto A^{1/3}$

จะได้ $$r = r_0 A^{1/3} \quad \ldots(2)$$

โดยที่ r_0 มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2×10^{-15} ถึง 1.5×10^{-15} เมตร

แรงนิวเคลียร์ มวลพร่อง และพลังงานยึดเหนี่ยว

แรงนิวเคลียร์ (Nuclear Force) หมายถึง แรงดูดที่มีค่ามากซึ่งทำให้นิวคลีออนมารวมกันอยู่ในนิวเคลียส โดยถ้าต้องการให้นิวคลีออนแยกออกจากกันได้ จะต้องให้พลังงานแก่นิวเคลียสซึ่งมีค่ามากพอดีกับพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างนิวคลีออนนั้น

มวลพร่อง (Mass Defect) หมายถึง มวลส่วนหนึ่งที่หายไป โดยเมื่อนิวคลีออนอิสระมารวมกันเป็นนิวเคลียส มวลของนิวเคลียสที่เกิดขึ้นใหม่จะมีมวลน้อยกว่า ผลรวมของมวลนิวคลีออนอิสระก่อนรวม

ถ้าให้ M แทนนิวเคลียสที่มีเลขมวล A และเลขอะตอมเป็น Z ซึ่ง Z คือ จำนวนประจุบวกซึ่งแต่ละประจุมีมวล m_r และ (A–Z) แทนจำนวนนิวตรอนซึ่งแต่ละตัวมีมวล m_n ดังนั้นจะคำนวณหามวลพร่องได้ดังนี้

$$\Delta m = (Zm_r + (A-Z)m_n) - M \quad ...(3)$$

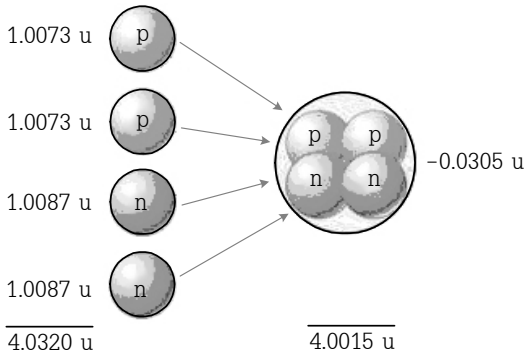
Δm แทนมวลพร่อง มีหน่วยเป็น u (Atomic Mass Unit)

พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding Energy) หมายถึง พลังงานที่ใช้ในการยึดนิวคลีออนให้มารวมกันเป็นนิวเคลียสได้ โดยพลังงานยึดเหนี่ยวนี้เปลี่ยนรูปมาจากมวลพร่องนั่นเอง โดยการหาค่าพลังงานยึดเหนี่ยวได้จากการเปลี่ยนแปลงของมวลเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยถ้าให้ B.E. แทนพลังงานยึดเหนี่ยว มีหน่วยเป็นเมกกะอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) และ Δm แทนมวลพร่อง

มีหน่วยเป็น u โดยที่ มวล 1 u เทียบเท่ากับพลังงาน 931 MeV ดังนั้นจะได้

$$B.E. = \Delta m \times 931 \text{ MeV} \quad ...(4)$$

ตัวอย่างเช่น ${}^4_2He$ เกิดจากโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว ดังสมการ



จะได้ $2\,{}^1_1H + 2\,{}^1_0He \longrightarrow {}^4_2He$

มวลก่อนรวม $2\,{}^1_1H + 2\,{}^1_0He = 2(1.0073\text{ u}) + 2(1.0087\text{ u}) = 4.0320\text{ u}$

มวลหลังรวม ${}^4_2He = 4.0015\text{u}$

ดังนั้น มวลพร่อง $\Delta m = (4.0320\text{ u}) - (4.0015\text{ u}) = 0.0305\text{ u}$

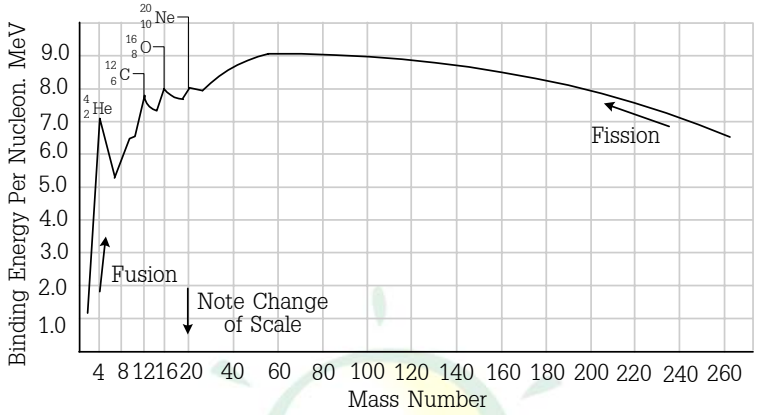
พลังงานยึดเหนี่ยว $B.E. = \Delta m \times 931\text{ MeV}$

$= 0.0305 \times 931\text{ MeV} = 28.39\text{ MeV}$

พลังงานยึดเหนี่ยว ${}^4_2He$ มีค่าเท่ากับ 28.39 MeV

ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน

ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวไคลด์ใดๆ ถ้านำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับเลขมวล จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 3

จากกราฟ พบว่า

1. ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนค่อยๆ เพิ่มมากขึ้น เมื่อเลขมวลมากขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 26 เนื่องจากว่าเมื่อจำนวนนิวคลีออนมากขึ้นจะต้องใช้พลังงานในการยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันเพิ่มขึ้น

2. ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมีค่ามากแสดงว่า นิวคลีออนที่อยู่ในนิวเคลียสยึดกันแน่นมากทำให้ยากต่อการสลายตัวของนิวเคลียสนั้น ๆ หรือกล่าวได้ว่านิวเคลียสมีเสถียรภาพมาก

3. ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนจะเริ่มมีค่าลดลง เมื่อเลขมวลของนิวไคลด์มีค่ามากกว่า 60 แสดงว่านิวคลีออนที่อยู่ในนิวเคลียสยึดกันไม่แน่นมากนัก ถ้าพิจารณาจำนวนโปรตอน และนิวตรอนในนิวเคลียสเหล่านี้จะพบว่าจำนวนโปรตอนและนิวตรอนมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้พลังงานในการยึดเหนี่ยวน้อยลง เมื่อนิวไคลด์หรือธาตุใดที่มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนน้อย แสดงว่านิวไคลด์นั้นจะสลายตัวได้ง่าย ซึ่งเราเรียกนิวไคลด์เหล่านี้ว่าสารกัมมันตรังสี

กัมมันตภาพรังสี

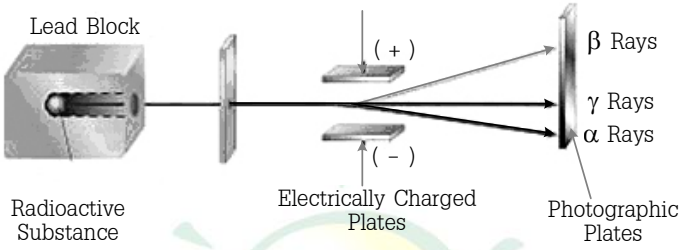
ในปี ค.ศ. 1896 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ชื่อ อองตวน อองรี แบ็กเกอแรล (Antoine Henri Becquerel, 1852–1908) ได้ค้นพบการแผ่รังสีของนิวเคลียสขึ้น จากการศึกษาเกี่ยวกับการแผ่รังสีฟิสิกส์นิวเคลียร์ต่อมาทำให้ทราบถึงธรรมชาติของธาตุ และสามารถนำเอาไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้มาก เช่น นำไปใช้เพื่อการบำบัดรักษามะเร็ง การทำ CT SCANNERS เป็นต้น

1. การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

ธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive Elements) หมายถึง นิวไคลด์หรือธาตุที่มีสภาพไม่เสถียร ซึ่งจะมีการสลายตัวของนิวเคลียสอยู่ตลอดเวลา ทำให้กลายเป็นนิวไคลด์ใหม่หรือธาตุ ในขณะเดียวกันก็สามารถปลดปล่อยรังสีได้

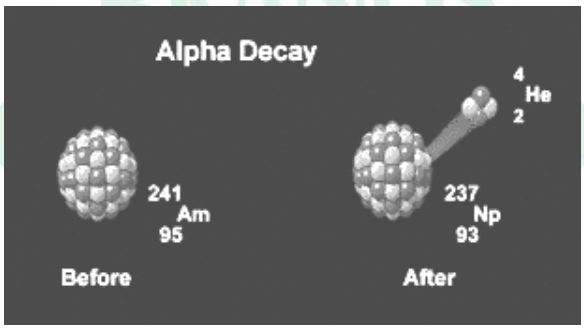
กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) เป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของสารที่มีสมบัติในการแผ่รังสีออกมาได้เอง กัมมันตภาพรังสี ที่แผ่ออกมามีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ รังสีแอลฟา รังสีเบตา และรังสีแกมมา

โดยเมื่อนำสารกัมมันตรังสีใส่ลงในตะกั่วที่เจาะรูเอาไว้ให้รังสีออกทางช่องทางเดียวไปผ่านสนามไฟฟ้า พบว่ารังสีหนึ่งจะเบนเข้าหาขั้วบวก คือ รังสีเบตา อีกรังสีหนึ่งเบนเข้าหาขั้วลบ คือ รังสีแอลฟาหรืออนุภาคแอลฟา ส่วนอีกรังสีหนึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้าจึงไม่ถูกดูดหรือผลักด้วยอำนาจแม่เหล็กหรืออำนาจนำไฟฟ้า ให้ชื่อรังสีนี้ว่า รังสีแกมมา ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการเบี่ยงเบนของรังสีชนิดต่างๆ ในสนามไฟฟ้า

ก. รังสีแอลฟา (Alpha Ray) เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีขนาดใหญ่และมีมวลมากเพื่อเปลี่ยนแปลงให้เป็นนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพสูงขึ้น ซึ่งรังสีนี้ถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสด้วยพลังงานต่างๆ กัน รังสีแอลฟาก็คือนิวเคลียสของฮีเลียม แทนด้วย $^{4}_{2}He$ มีประจุบวกมีขนาดเป็น 2 เท่าของประจุอิเล็กตรอน คือ เท่ากับ +2e และมีนิวตรอน อีก 2 นิวตรอน (2n) มีมวลเท่ากับนิวเคลียสของฮีเลียมหรือประมาณ 7000 เท่าของอิเล็กตรอน เนื่องจากมีมวลมากจึงไม่ค่อยเกิดการเบี่ยงเบนง่ายนัก เมื่อวิ่งไปชนสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ผิวหนัง แผ่นกระดาษจะไม่สามารถผ่านทะลุไปได้ แต่จะถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วแล้วจะถ่ายทอดพลังงานเกือบทั้งหมดออกไป ทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมที่ถูกรังสีแอลฟาชนหลุดออกไป ทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า การแตกตัวเป็นไอออน



รูปที่ 5 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแอลฟา

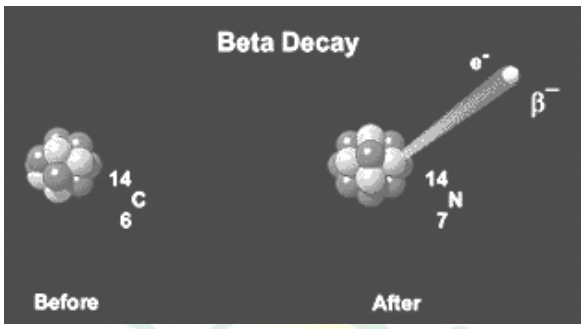
สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแอลฟา เป็นดังนี้

จากรูป $$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \quad ...(5)$$

$$^{241}_{95}Am \longrightarrow {}^{231}_{93}Np + {}^{4}_{2}He$$

ข. รังสีเบตา (Beta Ray) เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนมากเกินไปหรือน้อยเกินไป โดยรังสีเบตาแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. เบตาลบหรือหรืออิเล็กตรอน ใช้สัญลักษณ์ β^- หรือ $^{0}_{-1}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีนิวตรอนมากกว่าโปรตอน ดังนั้นจึงต้องลดจำนวนนิวตรอน ลงเพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ



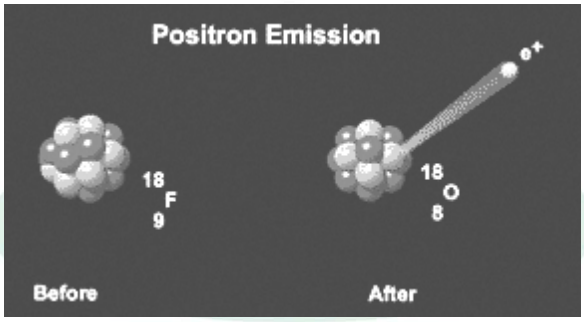
รูปที่ 6 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีเบตาลบ

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีเบตาลบ เป็นดังนี้

จากรูป $^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$ ...(6)

$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

2. เบตาบวกหรือหรือโพสิตรอน ใช้สัญลักษณ์ β^+ หรือ $^{0}_{+1}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีโปรตอนมากเกินกว่านิวตรอน ดังนั้นจึงต้องลดจำนวนโปรตอนลงเพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ



รูปที่ 7 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีเบตาบวก

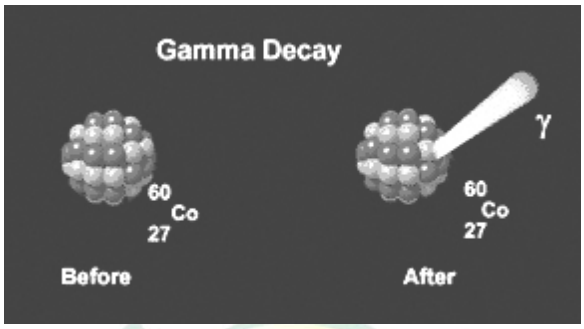
สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีเบตาบวก เป็นดังนี้

จากรูป $^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$ ...(7)

$^{18}_{9}F \longrightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}e$

เนื่องจากอิเล็กตรอนนั้นเบามาก จึงทำให้รังสีเบตาเกิดการเบี่ยงเบนได้ง่าย สามารถเบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้ มีความเร็วสูงมาก คือ มากกว่าครึ่งของความเร็วแสงหรือประมาณ 300000 กิโลเมตรต่อวินาที มีอำนาจในการทะลุทะลวงมากกว่ารังสีแอลฟา แต่น้อยกว่ารังสีแกมมา

ค. รังสีแกมมา (Gamma Ray) ใช้สัญลักษณ์ γ เกิดจากการที่นิวเคลียสที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้นฐานโดยการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา รังสีแกมมา ก็คือโฟตอนของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอกซ์ แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมากกว่ารังสีเอกซ์ ไม่มีประจุไฟฟ้าและมวลไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสง



รูปที่ 8 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแกมมา

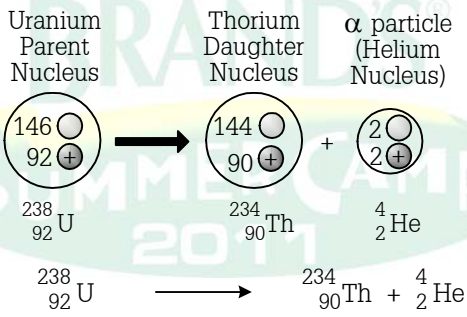
สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมา เป็นดังนี้

จากรูป $({}^{A}_{Z}X)_{exited} \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$ ...(8)

${}^{60}_{27}Co^{\circ} \longrightarrow {}^{60}_{27}Co + \gamma$

การเปลี่ยนสภาพของนิวเคลียสและมีการแผ่รังสีออกมา โดยที่นิวเคลียสเดิมจะเปลี่ยนเป็นนิวเคลียสใหม่ซึ่งเรียกว่า การสลายตัว (Decay) ดังเช่น

การสลายตัวให้รังสีแอลฟาของนิวเคลียส ${}^{238}_{92}U$



${}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$

${}^{234}_{90}Th$ เป็นนิวไคลด์ใหม่ เรียกว่า Daughter Nuclide ส่วน ${}^{238}_{92}U$ เป็นนิวไคลด์เดิม เรียกว่า Parent Nuclide

การสลายตัวให้รังสีเบตาของนิวเคลียส ${}^{14}_{6}C$

${}^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

การสลายตัวให้รังสีแกมมาของนิวเคลียส ${}^{16}_{8}O^{\circ}$ สถานะกระตุ้น

${}^{16}_{8}O^{\circ} \longrightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma$

โดยที่ ${}^{16}_{8}O$ จะเป็นนิวเคลียสที่สถานะพลังงานต่ำ

2. สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

จากการทดลองพบว่าอัตราการสลายตัวของนิวเคลียสจะเป็นปฏิภาคกับจำนวนนิวเคลียสที่มีอยู่ขณะนั้น เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{dN}{-dt} \propto N$$

หรือ
$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad ...(9)$$

โดยที่ λ แทนค่าคงที่ของการสลายตัว (Decay Constant)

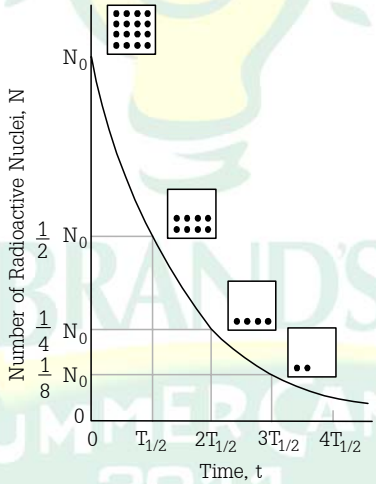
ถ้าให้ N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้นที่เวลา t = 0 และ N เป็นจำนวนนิวเคลียสที่เหลือ เมื่อเวลาผ่านไป t จะได้

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = \int_{0}^{2} (-\lambda dt)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad ...(10)$$

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีแสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงกราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งๆ จะแสดงลักษณะที่แตกต่างกันด้วยเวลาของการสลายตัวที่เรียกว่า ครึ่งชีวิต (Half-Life) แทนด้วย $T_{1/2}$ ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่ธาตุมันตรังสีหนึ่งจะสลายไปเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณที่มีอยู่เดิม

ซึ่งจากรูปที่ 9 พบว่า

ในเวลาเริ่มต้น	t = 0	จำนวนนิวไคลด์ทั้งหมดเป็น	N_0
เมื่อเวลาผ่านไปครึ่งชีวิต	$t = T_{1/2}$	จำนวนนิวไคลด์ที่เหลือเป็น	$\frac{1}{2}N_0$
และเมื่อเวลาผ่านไป	$t = 2T_{1/2}$	จำนวนนิวไคลด์ที่เหลือเป็น	$\frac{1}{4}N_0$

ตารางที่ 1 แสดงครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีบางธาตุและชนิดของการสลายตัว

นิวเคลียส	ชนิดของการสลายตัว	ครึ่งชีวิต
Polonium (^{214}Po)	α, γ	1.64×10^{-4} s
Krypton (^{89}Kr)	β, γ	3.16 min
Radon (^{222}Rn)	α, γ	3.83 da
Strontium (^{90}Sr)	α	28.5 yr
Radium (^{226}Ra)	α, γ	1.6×10^{3} yr
Carbon (^{14}C)	β	5.73×10^{3} yr
Uranium (^{238}U)	α, γ	4.47×10^{9} yr
Indium (^{155}In)	β	4.41×10^{14} yr

เมื่อแทน $t = T_{1/2}$ และ $N = \frac{N_0}{2}$ ลงในสมการที่ (10) จะได้ว่า

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad ...(11)$$

เนื่องจากอัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เรียกว่า กัมมันตภาพ (Activity) แทนด้วย A ดังนั้นกัมมันตภาพของสารกัมมันตรังสีใดๆ จะเขียนได้เป็น

$$A = \lambda N \quad ...(12)$$

กัมมันตภาพจะมีหน่วยเป็นต่อวินาที หรือ Disintegration Per Sec (dps) ซึ่งเรียกว่า เบคเคอเรล (Becquerel, Bq) เดิมใช้เป็นคูรี่ (Ci) โดย

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

ข้อควรจำ

1. ในทางปฏิบัติการวัดหาจำนวนนิวเคลียสโดยตรงกระทำได้ยาก และเนื่องจากจำนวนนิวเคลียสในสารหนึ่งๆ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารนั้น ๆ ดังนั้นจึงพิจารณาเป็นค่ากัมมันตภาพหรือการวัดมวลแทน ดังนี้

กัมมันตภาพที่เวลาใดๆ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ ...(13)

โดยที่ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

มวลที่เวลาใดๆ $m = m_0 e^{-\lambda t}$ ...(14)

โดยที่ m_0 คือ มวลสารตั้งต้นที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

2. การหาจำนวนนิวเคลียสสามารถทำได้ ดังนี้

ถ้า M แทนมวลอะตอมของธาตุ (กรัมต่อโมล)

m แทนมวลของธาตุ (กรัม)

N_A แทนเลขอะโวกาโดร = 6.02×10^{23} อะตอมต่อโมล

N แทนจำนวนอะตอม (อะตอม)

จะได้ว่า $$N = \frac{mN_A}{M} \quad ...(15)$$

ในการคำนวณหาจำนวนนิวเคลียส โดยกำหนดมวลมาให้ก็สามารถใช้สมการนี้คำนวณหาจำนวนนิวเคลียสได้เหมือนกัน

3. หน่วยและขนาดของรังสี

1. เรินต์เกน (Rontgen Unit, R) เป็นปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศแห้ง 1 cm^3 แตกตัวมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบเท่ากับ $1/(3 \times 10^9)$ คูลอมบ์ ซึ่งเทียบได้เป็นประจุไฟฟ้า (2.58×10^{-4}) C/kg หรือ $1\ R = 2.58 \times 10^{-4}$ C/kg

2. แร็ด (rad) ย่อมาจาก Radiation Absorbed Dose เป็นหน่วยที่บอกถึงขนาดรังสีที่ถูกดูดกลืนในมวลสาร โดยกำหนดว่า 1 rad เป็นขนาดรังสีที่สารใดๆ มวล 1 kg ดูดกลืนหรือรับพลังงานไว้ 10^{-2} J หรือ 1 rad = 10^{-2} J/kg หรือ เกรย์ในระบบ SI (Gray, Gy) โดยที่

$$1\ Gy = 1\ J/kg = 100\ rad$$

3. เรม (rem) (Rontgen Equivalent Man) เป็นหน่วยที่วัดขนาดรังสีที่เรียกว่า ขนาดรังสีสมมูล (Dose Equivalent) ซึ่งหมายถึงขนาดรังสีที่จะทำให้เกิดผลทางชีวภาพของร่างกายเทียบเท่ากับรังสีเบตา หรือรังสีแกมมาขนาด 1 rad โดย

$$\text{ขนาดรังสีสมมูล (rem)} = (RBE)(1\ rad) \quad ...(16)$$

เมื่อ RBE คือ Relative Biological Effectiveness ของชนิดของรังสี ถ้า RBE มีค่ามาก ผลของรังสีที่เกิดแก่เนื้อเยื่อก็จะรุนแรงมาก ค่า RBE สำหรับรังสีชนิดต่างๆ ดูได้จากตาราง ซึ่งค่า RBE ขึ้นอยู่กับพิสัย (Range) ของรังสีชนิดนั้นๆ ด้วย

ตารางแสดงค่า RBE สำหรับรังสีชนิดต่างๆ

ชนิดและพลังงานของรังสี	RBE
รังสีเอซ์	1
รังสีแกมมา	1
อนุภาคเบตา 30 KeV หรือมากกว่า	1
อนุภาคเบตาขนาดน้อยกว่า 30 KeV	1.7
นิวตรอน (thermal to slow, < 0.02 MeV)	2–5
นิวตรอน (fast, 1–10 MeV)	10 (สำหรับร่างกาย) และ 30 (สำหรับนัยน์ตา)
โปรตอน (1–10 MeV)	10 (สำหรับร่างกาย) และ 30 (สำหรับนัยน์ตา)
อนุภาคแอลฟาจากกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ 1	10–20

ปฏิกิริยานิวเคลียร์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ คือ กระบวนการที่นิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบซึ่งเกิดจากการยิงด้วยนิวคลีออน หรือกลุ่มนิวคลีออน หรือรังสีแกมมา แล้วทำให้มีนิวคลีออนเพิ่มเข้าไปในนิวเคลียสหรือออกไปจากนิวเคลียสหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงจัดตัวใหม่ภายในนิวเคลียส สามารถเขียนสมการของปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$X + a \longrightarrow Y + b \quad \text{หรือ} \quad X(a, b)Y \qquad ...(17)$$

โดยที่ X เป็นนิวเคลียสที่เป็นเป้า, a คือ อนุภาคที่วิ่งเข้าชนเป้า, b คือ อนุภาคที่เกิดขึ้นใหม่หลังจากการชน และ Y คือ นิวเคลียสของธาตุใหม่หลังจากการชน

เช่น ${}^{12}_{6}C(n, \gamma){}^{13}_{6}C$ แสดงถึงว่า ${}^{12}_{6}C$ เป็นนิวเคลียสเป้าหมายที่ถูกยิง ${}^{13}_{6}C$ เป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น n คือ นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ใช้ในการยิงและเป็นรังสีที่เกิดขึ้นใหม่ เป็นต้น

ข้อควรจำ

1. ในสมการของปฏิกิริยานิวเคลียร์ทั้งหลายที่เกิดขึ้น ผลรวมของเลขอะตอมก่อนเกิดปฏิกิริยา และภายหลังปฏิกิริยาย่อมเท่ากัน และผลรวมของมวลอะตอมก่อนเกิดปฏิกิริยาและภายหลังปฏิกิริยาย่อมเท่ากัน เช่น ปฏิกิริยา ${}^{14}_{7}N(\alpha, p){}^{17}_{8}O$

เขียนได้เป็น	${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \longrightarrow$		${}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$
เลขอะตอม คือ	$7 + 2$	$=$	$8 + 1$
มวลอะตอม คือ	$14 + 4$	$=$	$17 + 1$

2. ในปฏิกิริยานิวเคลียร์นั้นพลังงาน หรือมวล-พลังงาน (Mass-Energy) ก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาจะต้องเท่ากันเสมอ ซึ่งเป็นไปตามกฎทรงพลังงาน ดังเช่น ในการยิงอนุภาคโปรตอนไปยังนิวเคลียสของลิเทียม แล้วทำให้เกิดนิวเคลียสของฮีเลียม 2 นิวเคลียส ดังสมการ

$${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He$$

โดยที่ ${}^{7}_{3}Li$ มีมวล 7.0160 u

${}^{4}_{2}He$ มีมวล 4.0026 u

${}^{1}_{1}H$ มีมวล 1.0078 u

มวลก่อนเกิดปฏิกิริยา ${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H = 7.0160\ u + 1.0078\ u = 8.0238\ u$

มวลหลังเกิดปฏิกิริยา ${}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He = 4.0026\ u + 4.0026\ u = 8.0052\ u$

มวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยามากกว่ามวลรวมหลังปฏิกิริยา $= 8.0238\ u - 8.0052\ u = 0.0186\ u$

แต่มวลสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้โดย

$$E = (0.0186\ u) \times 931\ MeV = 17.32\ MeV$$

โดยพลังงานที่ให้ออกมาอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ จึงเรียกว่า พลังงานนิวเคลียร์ ดังนั้นเขียนสมการข้างต้นใหม่ได้ว่า

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 17.32\ \mathrm{MeV}$$

ปฏิกิริยานิวเคลียร์บางปฏิกิริยาต้องดูดพลังงานเข้าไปจึงจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ เช่น ปฏิกิริยา $^{14}_{7}\mathrm{N}(\alpha, p)^{17}_{8}\mathrm{O}$ เขียนเป็นสมการได้

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

โดยที่ $^{14}_{7}\mathrm{N}$ มีมวล = 14.003074 u $^{4}_{2}\mathrm{He}$ มีมวล = 4.002603 u

$^{17}_{8}\mathrm{O}$ มีมวล = 17.005677 u $^{1}_{1}\mathrm{H}$ มีมวล = 1.007825 u

มวลก่อนเกิดปฏิกิริยา $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ = 14.003074 u + 4.002603 u = 18.005677 u

มวลหลังเกิดปฏิกิริยา $^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$ = 17.005677 u + 1.007825 u = 18.013502 u

ผลต่างของพลังงานก่อนเกิดปฏิกิริยากับหลังเกิดปฏิกิริยามีค่าดังนี้

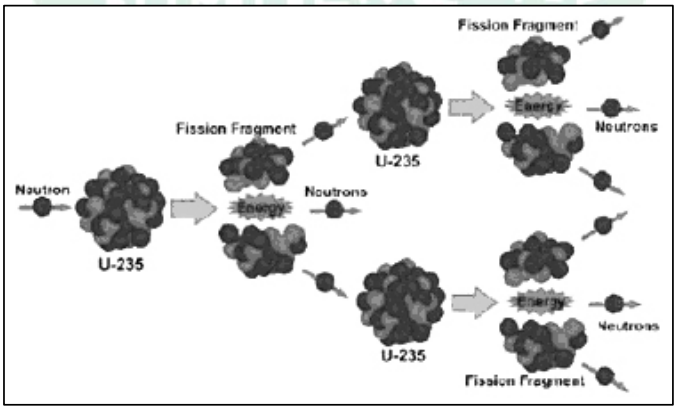
$$E = (18.005677\ \mathrm{u} - 18.013502\ \mathrm{u}) \times 931\ \mathrm{MeV} = -7.285\ \mathrm{MeV}$$

ดังนั้นเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์นี้ขึ้นจะต้องให้พลังงานแก่ $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ โดยเขียนเป็นสมการได้

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 7.285\ \mathrm{MeV} \longrightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

ปฏิกิริยาฟิชชันและฟิวชัน

1. ปฏิกิริยาฟิชชัน (Nuclear Fission) คือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เป็นผลจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุหนัก โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการยิงนิวตรอนไปยังนิวเคลียสของอะตอมหนัก แล้วทำให้นิวเคลียสแตกออกเป็น 2 ส่วนเกือบเท่ากัน ในปฏิกิริยานี้มวลของนิวเคลียสบางส่วนจะหายไปกลายเป็นพลังงานออกมา และเกิดนิวตรอนใหม่อีก 2 หรือ 3 ตัว ซึ่งวิ่งเร็วมากพอที่จะไปยิงนิวเคลียสของอะตอมอื่นต่อไปทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเรื่อยไป เรียกว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction)



รูปที่ 10 แสดงการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว

ตัวอย่างการแบ่งแยกนิวเคลียส เช่น การยิงนิวตรอนไปยังนิวเคลียสของ $^{235}_{92}U$ ซึ่งจะแตกออกเป็น 2 ส่วนเกือบเท่ากัน คือ เกิดนิวเคลียสของแบเรียมและคริปตัน ดังสมการ

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{236}_{92}U \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + 200\ MeV$$

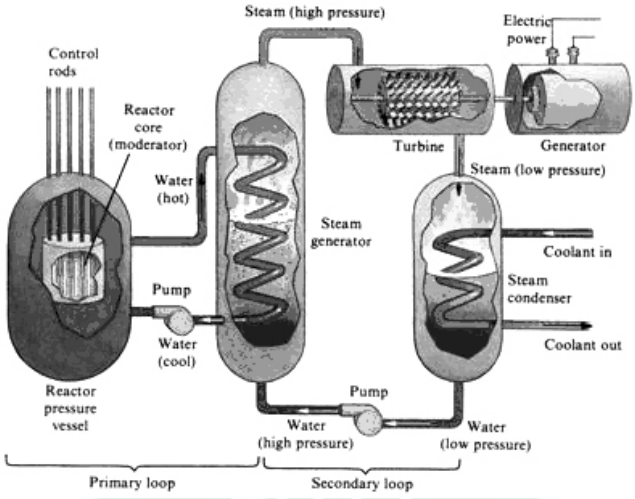
2. ปฏิกิริยาฟิวชัน (Nuclear Fusion) คือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เป็นผลจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุเบาเป็นนิวเคลียสของธาตุหนัก พร้อมกับปล่อยพลังงานออกมา เช่น

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}H + {}^{1}_{0}n + 3.3\ MeV$$

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Reactor) คือ เครื่องผลิตพลังงานนิวเคลียร์ที่สามารถควบคุมการแบ่งแยกนิวเคลียร์และปฏิกิริยาลูกโซ่ให้เกิดขึ้นในอัตราที่พอเหมาะ ทำให้สามารถนำเอาพลังงานความร้อน นิวตรอน และรังสีที่เกิดขึ้นไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้

เรื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีหลายชนิด มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไป โดยแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีส่วนประกอบของเครื่องโดยทั่วไปมีดังนี้



รูปที่ 11 แสดงเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์

1. เชื้อเพลิง (Fuel) อาจใช้ยูเรเนียม พลูโตเนียม เป็นต้น

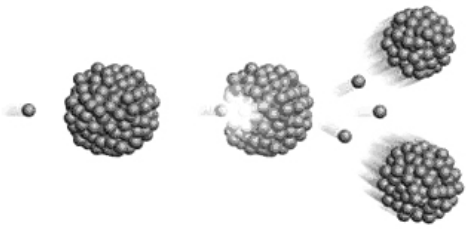
2. มอเดอร์เรเตอร์ (Moderator) มีหน้าที่ทำให้นิวตรอนวิ่งช้าลงเพราะนิวตรอนช้ามีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการแบ่งแยกนิวเคลียสได้ดีกว่านิวตรอนเร็ว สารที่ใช้เป็นมอเดอร์เรเตอร์ ได้แก่ คาร์บอน เมื่อนิวตรอนวิ่งผ่านคาร์บอนจะชนกับอะตอมของคาร์บอนทำให้มันวิ่งช้าลงได้ความเร็วตามต้องการ

3. แท่งบังคับ (Control Rods) มีหน้าที่ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ให้เกิดมากเกินไป ที่นิยมใช้ คือ แคดเมียม หรือโบรอน แคดเมียมจะเป็นตัวดูดกลืนนิวตรอนไว้ได้ดีมาก ดังนั้นถ้าสอดแท่งแคดเมียมให้ลึกเข้าไปในเครื่องมากๆ ก็จะดูดกลืนนิวตรอนไว้ได้น้อยลงทุกทีและปฏิกิริยาลูกโซ่ก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามมา

4. ตัวทำให้เย็น (Coolant) เพื่อนำเอาความร้อนออกไปจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โดยอาจใช้น้ำธรรมดา หรือโลหะโซเดียม หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม อากาศ เป็นต้น

5. เครื่องกำบัง (Shield) มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้รังสีออกจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งอาจทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เครื่องกำบังอาจทำด้วยคอนกรีตหนาๆ หรืออาจใช้บ่อน้ำก็ได้

การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์อาจอธิบายได้ดังนี้ เริ่มจากยูเรเนียมที่ใส่อยู่ในเครื่องนั้นปกติจะเป็น $^{235}_{92}U$ มีปริมาณน้อยกว่า 1% ของยูเรเนียมทั้งหมดทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิง ส่วนยูเรเนียมที่เหลือนอกนั้น คือ $^{238}_{92}U$ เมื่อมีนิวตรอนวิ่งผ่านเข้าไปในเครื่องจะยิงนิวเคลียสของ $^{235}_{92}U$ ทำให้เกิดการแบ่งแยกนิวเคลียสขึ้น นิวเคลียสที่ถูกแบ่งแยกออกจะมีนิวตรอนเกิดขึ้น 1 หรือ 2 ตัว ซึ่งจะวิ่งผ่านเข้าเครื่องต่อไปแล้วยิงนิวเคลียสอื่นต่อไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และได้พลังงานเกิดขึ้นมากมาย



รูปที่ 12 แสดงการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์

นิวตรอนบางตัววิ่งไปชนนิวเคลียสของ $^{238}_{92}U$ ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้กลายเป็น $^{239}_{92}U$ ซึ่งไม่เสถียร และเกิดสลายตัวต่อไป ทำให้เกิดพลูโตเนียมขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

$$^{1}_{0}n + {}^{238}_{92}U \longrightarrow (^{239}_{92}U) \longrightarrow {}^{239}_{93}Np + {}^{0}_{-1}e$$

$^{239}_{92}U$ เป็นธาตุกัมมันตรังสีจะสลายตัวต่อไปได้เป็นพลูโตเนียม ดังสมการ

$$^{239}_{93}Np \longrightarrow {}^{239}_{94}Pu + {}^{0}_{-1}e$$

พลูโตเนียมนี้มีประโยชน์ใช้เป็นตัวเชื้อเพลิงได้ดีเช่นเดียวกับยูเรเนียม และเมื่อดูดนิวตรอนช้าเข้าไปก็ทำให้เกิดการแบ่งแยกนิวเคลียสได้เช่นกัน พลังงานความร้อนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้นอาจนำเอาไปใช้ต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอเพื่อไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

รังสีที่แผ่ออกจากธาตุกัมมันตรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมตามแนวทางที่รังสีผ่านไป ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต 2 แบบ คือ

1. ผลของรังสีที่มีต่อร่างกาย คือ เกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนัง ผมร่วง เซลล์ตาย เป็นแผลเปื่อย เกิดเนื้อเส้นใยจำนวนมากที่ปอด (Fibrosis of The Lung) เกิดโรคเม็ดโลหิตขาวมาก (Leukemia) เกิดต้อกระจก (Cataracts) ขึ้นในนัยน์ตา เป็นต้น ซึ่งร่างกายจะเป็นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ได้รับส่วนของร่างกายที่ได้ และอายุของผู้ได้รับรังสี ดังนั้นผู้ได้รับรังสีมีอายุน้อยแล้วอันตรายเนื่องจากรังสีจะมีมากกว่าผู้ที่มีอายุมากในทารกแรกเกิดแล้วอาจได้รับอันตรายถึงพิการหรือเสียชีวิตได้

2. ผลของรังสีที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ คือ ทำให้โครโมโซม (Chromosome) เกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้ลูกหลานเกิดเปลี่ยนลักษณะได้

การป้องกันรังสี

รังสีทุกชนิดมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งนั้น จึงต้องทำการป้องกันไม่ให้ร่างกายได้รับรังสี หรือได้รับแต่เพียงปริมาณน้อยที่สุด ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากต้องทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีแล้ว ควรมีหลักยึดถือเพื่อปฏิบัติดังนี้

1. เวลาของการเผย (Time of Exposure) โดยใช้เวลาในการทำงานในบริเวณที่มีรังสีให้สั้นที่สุด เพราะปริมาณกำหนดของรังสีจะแปรตรงกับเวลาของการเผย

2. ระยะทาง (Distance) การทำงานเกี่ยวกับรังสีควรอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมากๆ ทั้งนี้เพราะความเข้มของรังสีจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทาง คือ $I \propto \frac{1}{d^2}$ เมื่อ d คือ ระยะทาง

3. เครื่องกำบัง (Shielding) เครื่องกำบังที่วางกั้นระหว่างคนกับแหล่งกำเนิดรังสีจะดูดกลืนบางส่วนของรังสี หรืออาจจะทั้งหมดเลยก็ได้ ดังนั้นในกรณีที่ต้องทำงานใกล้กับสารกัมมันตรังสีและต้องใช้เวลานานในการปฏิบัติงาน เราจำเป็นต้องใช้เครื่องกำบังช่วยเครื่องกำบังที่ดีควรเป็นพวกโลหะหนัก เพราะว่าโลหะหนักจะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้รังสีเมื่อวิ่งมาชนกับอิเล็กตรอนแล้วจะสูญเสียพลังงานไปหมด ตัวอย่างของเครื่องกำบัง เช่น แผ่นตะกั่ว แผ่นเหล็ก แผ่นคอนกรีต ใช้เป็นเครื่องกำบังพวกรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา แผ่นลูไซท์ควอทซ์ใช้เป็นเครื่องกำบังรังสีเบตาได้ อากาศและแผ่นกระดาษอาจใช้เป็นเครื่องกำบังอนุภาคอัลฟา ส่วนน้ำและพาราฟินใช้เป็นเครื่องกำบังอนุภาคนิวตรอนได้

ตัวอย่างที่ 1 ธาตุไอโซโทปของ $^{224}_{88}Ra$ จะมีรัศมีเป็นกี่เท่าของธาตุไอโซโทปของ $^{224}_{88}Ra$

$$R = r_0A^{1/3}$$

$$\frac{R_{Ra}}{R_{Na}} = \left(\frac{A_{Ra}}{A_{Na}}\right)^{1/3} = \left(\frac{224}{28}\right)^{1/3}$$

$$R_{Ra} = 2R_{Na}$$

ตัวอย่างที่ 2 จากสมการ $^{6}_{2}He \rightarrow + \ ^{6}_{3}Li + \beta$ และกำหนดมวลของไอโซโทปต่างๆ ดังนี้
$^{1}_{1}H = 1.0027$ u, $^{1}_{0}n = 1.00867$ u, $^{6}_{2}He = 6.02047$ u, $^{6}_{3}Li = 6.01702$ u, $\beta \approx 0$
จงหาพลังงานอนุภาค $\beta(^{0}_{-1}e)$

$$E_{k(\beta)} = \Delta m \times 931$$

$$= (6.02047 - 6.01702) \times 931 = 3.2 \text{ eV}$$

ตัวอย่างที่ 3 จงคำนวณค่าพลังงาน**น้อยที่สุด** (eV) ในการแยกเอาอนุภาคนิวตรอนหนึ่งตัวออกจากนิวเคลียสของธาตุ $^{40}_{20}Ca$
กำหนด $^{40}Ca = 39.962589$ u, $^{39}Ca = 39.970691$ u, $^{1}_{0}n = 1.008665$ u

$$1 \text{ u} = 931.5 \text{ eV}$$

$$E_{k(\beta)} = \Delta m \times 931.5$$

$$= ((39.970691 + 1.008665) - 39.962589) \times 931.5$$

$$= 947.12 \text{ MeV}$$

ตัวอย่างที่ 4 จากสมการ $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{58}Ce + {}^{92}_{34}Se + 3{}^{1}_{0}n + 200$ MeV

$^{235}_{92}U = 235.0439$ u, $^{233}_{92}U = 233.1120$ u, $^{141}_{58}Ce = 140.9535$ u, $^{92}_{34}Se = 91.8582$ u, $^{1}_{0}n = 1.0087$ u

$$1 \text{ u} = 931 \text{ eV}$$

ถ้ารวมนิวเคลียสของ Ce-141 และ Se-92 เข้าเป็นนิวเคลียสเดียวกันจะต้องใช้พลังงานเท่าใด

$^{141}_{58}Ce + {}^{92}_{34}Se \rightarrow {}^{233}_{92}U$

$$E_{k(\beta)} = \Delta m \times 931.5$$
$$= (233.1120 - (140.9535 + 91.8585)) \times 931.5$$
$$= 279.45 \text{ MeV}$$

ตัวอย่างที่ 5 ปฏิกิริยาต่อไปนี้ ข้อใดให้พลังงานต่อมวล**น้อยที่สุด**

ก. $4{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2{}^{0}_{1}e + 26.8$ MeV

ข. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^{1}_{0}n + 200$ MeV

ค. $^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He + 17.3$ MeV

ง. $^{3}_{2}He + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{1}H + 18.3$ MeV

หาได้จากพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาหารด้วยเลขมวล

ก. $\frac{26.8}{4} = 6.7$ MeV

ข. $\frac{200}{236} = 0.85$ MeV **น้อยที่สุด**

ค. $\frac{17.3}{8} = 2.16$ MeV

ง. $\frac{18.3}{5} = 3.66$ MeV

ตัวอย่างที่ 6 เตาปฏิกรณ์ที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานจากการเกิดฟิชชันของยูเรเนียม U-235 ซึ่งแต่ละครั้งให้พลังงานออกมา 220 MeV ถ้าต้องการกำลัง 1 กิโลวัตต์ ในเวลา 1 วินาที จำนวนครั้งโดยประมาณของการเกิดฟิชชันคือเท่าใด

$$E = Pt$$
$$(1000) \times 1 = 1000 \text{ J}$$
$$E = \frac{1000}{1.6 \times 10^{-13}} \text{ MeV}$$
$$\text{จำนวนฟิชชัน} = \frac{E}{200}$$
$$= \frac{1000}{200 \times 1.6 \times 10^{-13}}$$
$$= 3.125 \times 10^{13} \text{ ฟิชชัน}$$

การใช้อิเล็กทรอนิกส์ในการรับรู้และควบคุมที่ควรทราบ

การใช้อิเล็กทรอนิกส์ในการรับรู้

ความหมายของตัวรับรู้ทางไฟฟ้า คือ วัสดุหรือสารที่มีการตอบสนองต่อปริมาณทางกายภาพ การตอบสนองนี้มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวรับรู้มีการเปลี่ยนแปลง สามารถนำตัวรับรู้มาสร้างเป็นเครื่องวัดปริมาณทางกายภาพได้

ตัวอย่างของการใช้วัสดุอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับรู้

1. ปริมาณแสง มี LDR (Light Dependent Resistor) และ Photodiode เป็นตัวรับรู้ โดย LDR ทำมาจาก Cds (Cadmuim Sulfide) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง เมื่อถูกแสงพลังงานจากแสงทำให้อิเล็กตรอนของ Cds ที่เดิมอยู่ในช่วงพลังงานแถบวาเลนซ์ ซึ่งมีพลังงานสูงขึ้นไปอยู่ในระดับ Conducting Band ทำให้ Cds สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ สำหรับการใช้ Photodiode วัดแสงนั้นพลังงานที่ตกกระทบผิวหน้า Photo Diode จะทำให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นรอยต่อ P และ N ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำเป็นไดโอดเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลให้มีอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเชื่อมได้ง่ายขึ้น เมื่อถูกแสงจะมีกระแสในวงจรเพิ่มขึ้น สามารถนำหลักการนี้ไปวัดปริมาณแสงได้

2. การใช้ Thermister วัดอุณหภูมิ ซึ่งทำจากสารกึ่งตัวนำซึ่งจะมีช่องว่างของพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบการนำพลังงานความร้อนจะทำให้ช่องว่างของพลังงานของ Thermister เปลี่ยนแปลงเป็นผลทำให้ค่าต้านทานเปลี่ยน ความต้านทานไฟฟ้านี้มี 2 แบบ คือ แบบบวก PTC (Positive Temperature Coefficient) หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย (ทำจากแบเรียมไททาเนต (BaTiO3) ส่วนแบบลบ NTC (Negative Temperature Coefficint) หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจะลดลง (ทำจากเจอร์มาเนียม Ge)

3. การใช้ Reed Switch ตรวจสอบสนามแม่เหล็ก ทำจากโลหะ 2 แท่งที่ทำจากสารแม่เหล็กบรรจุอยู่ภายในหลอดแก้วเล็กๆ เมื่อนำแท่งแม่เหล็กถาวรเข้าไปใกล้จะทำให้แท่งโลหะทั้งสองติดกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ สามารถนำไปใช้เป็นสวิตช์ปิด-เปิดควบคุมโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

4. การใช้ Condenser Microphone วัดความเข้มเสียงจะมีลักษณะคล้ายกับแผ่นเก็บประจุไฟฟ้า ประกอบด้วยแผ่นโลหะบางๆ 2 แผ่นวางห่างกันเมื่อมีเสียงมากระทบโลหะพลังงานเสียงจะทำให้แผ่นโลหะบางๆ ของ Condenser Microphone เข้าชิดหรือห่างกันเป็นผลให้ความจุไฟฟ้าเปลี่ยนไปทำให้วัดค่าความเข้มเสียงได้

5. การวัดความดันและแรงโดยใช้ Strain Gauge ใช้หลักการที่ความยาวของตัวนำเปลี่ยนเมื่อมีแรงมากระทำให้เกิดการบิดเบี้ยวหรือโค้งงอเป็นผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงและเนื่องจากความดันเท่ากับแรงต่อพื้นที่จึงสามารถนำ Strain Gauge ออกแบบทำเครื่องวัดความดันได้

การใช้อิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม เช่น เครื่องสัญญาณไฟฟ้า Oscilloscope การควบคุมเชิงอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้หลายแบบ เช่น

- การควบคุมบังคับให้สวิตช์รีเลย์ทำงาน ซึ่งสวิตช์รีเลย์ขนาดใหญ่สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่สูงหลายร้อยแอมแปร์ได้ โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าควบคุมที่มีกระแสไม่ถึง 1 แอมแปร์
- การใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง
- การใช้ไทรซิสเตอร์กำลัง
- การใช้ไทรริสเตอร์ ไทรแอด ไดแอด ไดโอดกำลัง โดยมีขั้นตอนทำงาน ดังนี้

ส่วนที่เป็น Input ซึ่งได้แก่สัญญาณไฟที่ได้จากตัวรับรู้ เช่น แสง ความเข้มเสียง ความดัน อุณหภูมิ ส่วนที่เป็น Process คือ ส่วนที่จัดกระทำสัญญาณไฟที่เข้ามา ซึ่งอาจมีการขยายสัญญาณและการวิเคราะห์ และตัดสินใจ เช่น เปิดไฟแสงสว่างของถนน เมื่อความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ลดลง และส่วน Output คือ ส่วนที่ควบคุมและแสดงผล

✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧