

# เอกสารเนื้อหาประกอบการติว วิชา ความถนัดทางวิศวกรรม



## จัดทำโดย

พี่เป้ – นายณัฐพงศ์ อรุณเซนทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## เกียรติประวัติ

- ประธานค่ายแนะแนวการศึกษา “จุฬา-ชลบุรี” ปีการศึกษา 2549 โดยจุดประสงค์ของค่ายจัดขึ้นเพื่อ แนะนำการศึกษาแก่น้องๆที่กำลังจะสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี จะให้คำแนะนำในเรื่องการเตรียมตัวสอบ การสัมภาษณ์ ให้ความรู้ในคณะต่างๆที่น้องสนใจ

- ได้รับเชิญเป็นวิทยากรรับเชิญในงาน Eduzone ติวเอ็นตรง 49 เพื่อให้คำแนะนำน้องๆที่กำลังจะสอบเข้าศึกษาต่อระดับมหาวิทยาลัย โดยทำการบรรยายในรายวิชา พื้นฐานความถนัดทางวิศวกรรมศาสตร์ ณ อาคาร ดร.สุข มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน ในวันอาทิตย์ที่ 9 ตุลาคม 2548

- ได้รับเชิญเป็นวิทยากรรับเชิญในงาน Eduzone ติวเอ็นตรง 50 เพื่อให้คำแนะนำน้องๆที่กำลังจะสอบเข้าศึกษาต่อระดับมหาวิทยาลัย เป็นครั้งที่ 2 โดยจะทำการบรรยายในรายวิชา พื้นฐานความถนัดทางวิศวกรรมศาสตร์ ณ อาคาร ดร.สุข มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน ในวันอาทิตย์ที่ 8 ตุลาคม 2549

- เป็นผู้ก่อตั้งและดำเนินการเว็บไซต์ <http://www.cututors.com> ซึ่งเป็นสื่อกลางในการคัดเลือกติวเตอร์คุณภาพสำหรับน้องๆ ปัจจุบันได้เปิดดำเนินการมาเป็นเวลากว่า 1 ปี มีจำนวนติวเตอร์คุณภาพที่คอยให้คำปรึกษาน้องๆ ได้มากกว่า 250 คน และมีน้องๆ สนใจสมัครเรียนมาแล้วประมาณ 200 คน ปัจจุบันได้ทำการปรับปรุงเว็บไซต์ทั้งหมดมาเป็นครั้งที่ 2 แล้ว

## โครงการ เอ็ดดูโซนติวเตอร์ตรง 50



ร่วมสนับสนุนความรู้โดย

สถาบันสอนพิเศษตามบ้าน CU Tutors.com  
สอน โดยทีมงานจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<http://www.cututors.com>

CU Tutors , We have more tutors to see you.

**CU Tutors.com**

และ

<http://www.eduzones.com>



## คำนิยม

เอกสารชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางให้กับน้องๆ ที่ต้องการเตรียมตัวจะสอบคัดเลือกเข้ามหาวิทยาลัย ซึ่งเอกสารชุดนี้ เป็นเอกสารสำหรับอ้างอิง และบททวนสูตรสำหรับน้องๆ ซึ่งจะรวบรวมเนื้อหาฟิสิกส์ทั้งหมด

สำหรับน้องๆ ที่ต้องการสอบในรายวิชาความถนัดทางวิศวกรรมศาสตร์นั้น สามารถนำเอกสารชุดนี้ไปใช้ศึกษาอ้างอิงได้ และนอกจากนี้ น้องๆ ต้องเตรียมศึกษาเพิ่มเติมในเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ เนื่องจากข้อสอบวิชานี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ และเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ ซึ่งจะมียุ้งบ้างเล็กน้อย

สุดท้าย พี่ก็ขอให้น้องๆ ประสบความสำเร็จ สามารถสอบเข้าในคณะ / มหาวิทยาลัยที่น้องๆ ต้องการ และพี่ก็หวังว่า เอกสารชุดนี้คงจะเป็นแนวทางในการศึกษาของน้องๆ ได้เป็นอย่างดี

ณัฐพงศ์ อรุณชนนท์  
ผู้เรียบเรียงและจัดทำ  
ตุลาคม 2549

# บทที่ 1

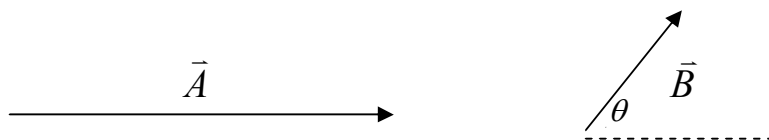
## บทนำ

### การบันทึกผลการวัด

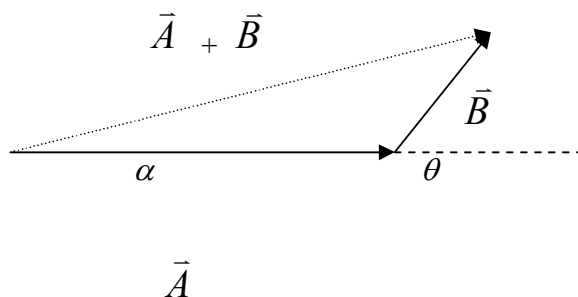
ในการบันทึกตัวเลขที่เป็นผลการวัด จะบันทึกตัวเลขที่อ่านได้จากสเกลของเครื่องวัด โดยตรงรวมกับตัวเลขที่ได้จากการประมาณด้วยสายตาก็ 1 ตัว เช่น ไม้บรรทัดวัดความยาวของดินสอได้ 13.47 เซนติเมตร ตัวเลข 13.4 เป็นตัวเลขที่อ่านได้โดยตรงจากสเกลบนไม้บรรทัด ส่วนเลข 7 ได้จากการประมาณ

### ปริมาณเวกเตอร์

ปริมาณเวกเตอร์เป็นปริมาณที่ต้องบอกทั้งขนาดและทิศทางจึงจะสมบูรณ์ ตัวอย่างของปริมาณเวกเตอร์ เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง การรวมปริมาณเวกเตอร์วิธีหนึ่ง คือการเขียนรูปต่อกันแบบหางต่อหัว เช่น กำหนดให้เวกเตอร์ A และเวกเตอร์ B มีขนาดและทิศทาง ดังรูป



ในการหาผลรวมของเวกเตอร์ทั้งสอง สามารถหาได้โดยการเขียน A แล้วนำหางของ B มาต่อที่หัวของ A ลากเส้นตรง จากหางของ A ไปยังหัวของ B เส้นตรงนี้คือ เวกเตอร์ลัพธ์ ดังรูป



## บทที่ 2

### การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

#### ปริมาณต่างๆ ในการเคลื่อนที่

1. การกระจัด (displacement) เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่บอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนตำแหน่ง การหาการกระจัดลัพธ์ ใช้วิธีการเดียวกับการรวมเวกเตอร์

2. อัตราเร็ว (speed) คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์

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

$v$  เป็นอัตราเร็วเฉลี่ย

$\Delta s$  เป็นระยะทางที่เคลื่อนที่ได้

$\Delta t$  เป็นช่วงเวลาของการเคลื่อนที่

อัตราเร็วขณะหนึ่งเป็นอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้นๆ

3. ความเร็ว (velocity) คือ การกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลาเป็นปริมาณเวกเตอร์

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

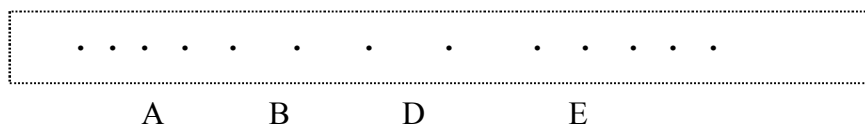
$\vec{v}$  เป็นความเร็วเฉลี่ย

$\Delta \vec{s}$  เป็นการกระจัด

$\Delta t$  เป็นช่วงเวลาของการเคลื่อนที่

ความเร็วขณะหนึ่ง เป็นความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้นๆ

ในการทดลองต่างๆ จะใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาในการวัดอัตราเร็ว เครื่องเคาะสัญญาณจะเคาะ 50 ครั้งใน 1 วินาที ดังนั้น จากการเคาะครั้งหนึ่งถึงการเคาะครั้งถัดไปจะใช้เวลา 1/50 วินาที เมื่อทราบระยะระหว่างจุดก็สามารถหาอัตราเร็วได้



ข้อสังเกต จุดใกล้กัน อัตราเร็วมีค่าน้อย จุดห่างกัน อัตราเร็วมีค่ามาก

4. ความเร่ง (acceleration) คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา

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

$\vec{a}_{av}$  เป็นความเร่งเฉลี่ย

$\Delta \vec{v}$  เป็นความเร็วที่เปลี่ยนไป

$\Delta t$  เป็นช่วงเวลาที่เปลี่ยนความเร็ว

### สมการสำหรับการคำนวณหาปริมาณต่างๆ ในการเคลื่อนที่

จาก ความเร่ง = ความเร็วที่เปลี่ยนไป / เวลา เขียนได้ว่า  $a = \frac{v-u}{t}$

และ การกระจัด = ความเร็วเฉลี่ย  $\times$  เวลา

เขียนได้ว่า  $s = \left(\frac{u+v}{2}\right)t$

เมื่อ u คือ ความเร็วต้น

v คือ ความเร็วปลาย

a คือ ความเร่ง

s คือ การกระจัด

t คือ เวลา

สามารถหาสมการการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$v = u + at$$

... (1)

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

... (2)

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

... (3)

ปริมาณ u v s และ a เป็นปริมาณเวกเตอร์ การใช้สมการทั้งสามจึงต้องคำนึงถึงทิศทางของเวกเตอร์ด้วย การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง หรือใน 1 มิติ มีทิศทางเพียง 2 ทิศ จึงกำหนดให้ทิศทางหนึ่งเป็นบวก ทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศที่กำหนดจะมีเครื่องหมายเป็นลบ

### ข้อคำนึงบางประการในการใช้สมการ

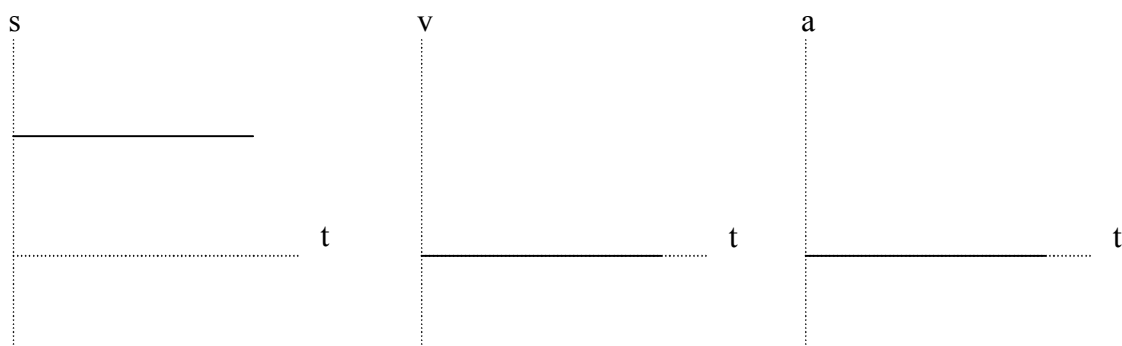
1. ความเร็วต้นคือความเร็วเมื่อเริ่มจับเวลา ( $t = 0$ ) ที่เวลานี้วัตถุนั้นจะมีความเร็วต้น หรือไม่มีก็ได้ ( $u=0$  หรือ  $u \neq 0$  ก็ได้)
2. ปล่อยวัตถุจากยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่ วัตถุนั้นจะมีความเร็วเท่ากับยานพาหนะนั้น
3. การเคลื่อนที่ในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ความเร่ง  $a = g \approx 10 \text{ m/s}^2$
4. ปล่อยวัตถุจากที่สูง ไม่มีความเร็วต้น ( $u=0$ ) แต่วัตถุลงมา มีความเร็วต้น ( $u \neq 0$ )
5. โยนวัตถุขึ้นไป จะต้องมีความเร็วต้นเสมอ ( $u \neq 0$ )
6. บอลลูก จรวด บั้งไฟ ขึ้นจากพื้น ไม่มีความเร็วต้น ( $u=0$ )
7. เมื่อขว้างวัตถุขึ้นไปในแนวตั้ง เวลาที่วัตถุขึ้นถึงจุดสูงสุด จะเท่ากับเวลาที่ตกจากจุดสูงสุดถึงพื้น
8. ความเร็วของก้อนหินขาขึ้นและขาลง ที่ระดับความสูงเดียวกัน จะมีขนาดเท่ากัน

### ความสัมพันธ์ของกราฟ การกระจัด ความเร็ว และความเร่งกับเวลา (s-t, v-t และ a-t)

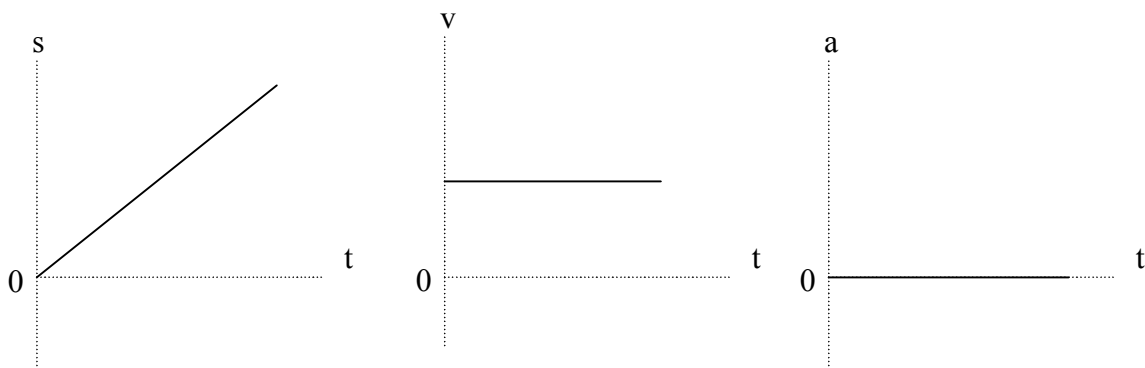
1. กราฟ s-t ความชันของกราฟ คือ ความเร็ว
2. กราฟ v-t ความชันของกราฟ คือ ความเร่ง พื้นที่ใต้กราฟ คือ การกระจัด
3. กราฟ a-t พื้นที่ใต้กราฟ คือ ความเร็ว

ตัวอย่างกราฟการเคลื่อนที่แบบต่างๆ

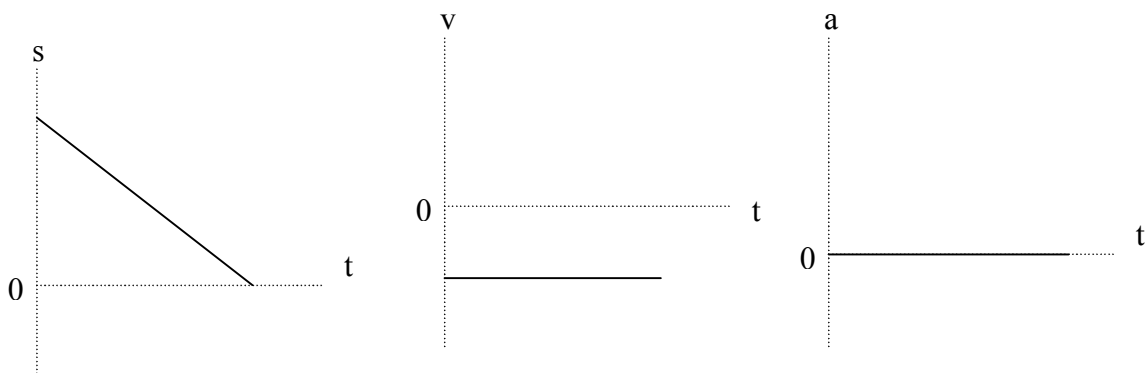
1. วัตถุหยุดนิ่ง กราฟ  $s-t$  เป็นเส้นตรงขนานแกนเวลา  
กราฟ  $v-t$  และ  $a-t$  เป็นเส้นตรงทับแกนเวลา



2. วัตถุมีความเร็วคงตัว (ไปทางขวา) กราฟ  $s-t$  เป็นเส้นตรงเฉียงขึ้น  
กราฟ  $v-t$  เป็นเส้นตรงขนานกับแกนเวลา (อยู่เหนือแกนเวลา)  
กราฟ  $a-t$  เป็นเส้นตรงทับแกนเวลา



3. วัตถุมีความเร็วคงตัว (ไปทางซ้าย) กราฟ  $s-t$  เป็นเส้นตรงเฉียงลง  
กราฟ  $v-t$  เป็นเส้นตรงขนานกับแกนเวลา (อยู่ใต้แกนเวลา)  
กราฟ  $a-t$  เป็นเส้นตรงทับแกนเวลา

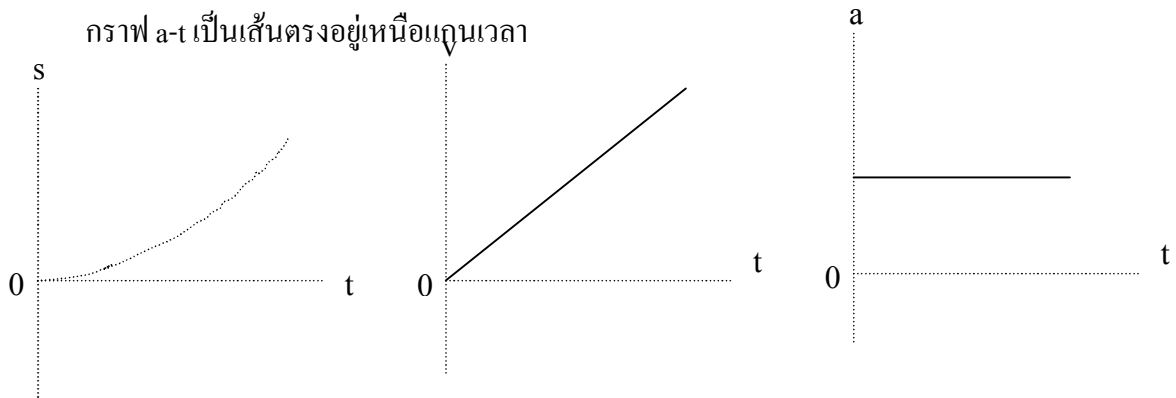


4. วัตถุมีความเร็วเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอ (วัตถุมีความเร็วไปทางขวาและความเร่งไปทางขวา)

กราฟ s-t เป็นเส้นโค้งหงาย

กราฟ v-t เป็นเส้นตรงเฉียงขึ้น

กราฟ a-t เป็นเส้นตรงอยู่เหนือแกนเวลา

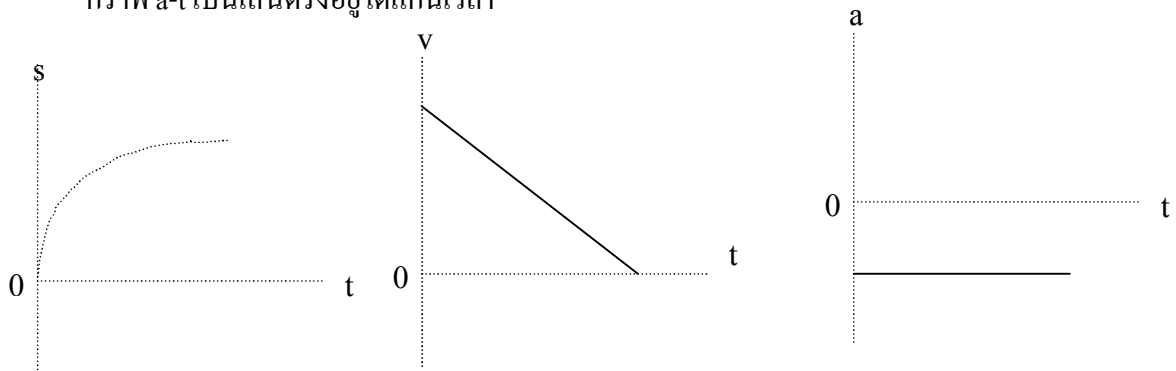


5. วัตถุมีความเร็วลดลงสม่ำเสมอ (วัตถุมีความเร็วไปทางขวาและความเร่งไปทางซ้าย)

กราฟ s-t เป็นเส้นโค้งคว่ำ

กราฟ v-t เป็นเส้นตรงเฉียงลง

กราฟ a-t เป็นเส้นตรงอยู่ใต้แกนเวลา



### บทที่ 3

## มวล แรง และกฎการเคลื่อนที่

### กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

กฎข้อที่ 1 “วัตถุจะรักษาสภาพอยู่นิ่ง หรือสภาพเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอเป็นเส้นตรง นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ”

กฎข้อนี้หมายความว่า ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์ จะเกิดผลดังนี้

1. วัตถุที่อยู่นิ่ง ยังคงอยู่นิ่งต่อไป
2. วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่ต่อไป ในแนวเส้นตรง ด้วยขนาดความเร็วเท่าเดิม

ทิศทางเดิม กฎข้อนี้เรียกว่า กฎของความเฉื่อย

กฎข้อที่ 2 “เมื่อมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุมีความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ และขนาดความเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

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

คือ แรงลัพธ์ หน่วย นิวตัน (N)

m คือ มวล หน่วย กิโลกรัม (kg)

$\vec{a}$  คือ ความเร่ง หน่วย เมตร / วินาที<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

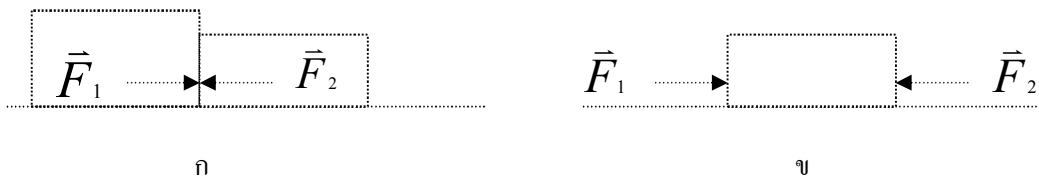
แรงลัพธ์ในกฎข้อนี้คือ ผลรวมของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุทุกแรง

กฎข้อที่ 3 “ทุกแรงกิริยา ย่อมมีแรงปฏิกิริยา ขนาดเท่ากันกระทำในทิศตรงข้ามเสมอ กฎข้อนี้อาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า แรงกระทำต่อกันของวัตถุสองก้อนย่อมมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้าม”

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

โดยที่  $F_{AB}$  คือ แรงที่วัตถุ A กระทำต่อวัตถุ B

และ  $F_{BA}$  คือ แรงที่วัตถุ B กระทำต่อวัตถุ A



รูป 3.1 แรงสองแรงมีขนาดเท่ากันและมีทิศตรงข้าม

รูป ก. เป็นแรงตามกฎข้อที่ 3

รูป ข. ไม่เป็นแรงตามกฎข้อที่ 3

ข้อสังเกต แรงตามกฎข้อที่ 3 เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุคนละก้อน ไม่ใช่กระทำต่อวัตถุก้อนเดียวกัน

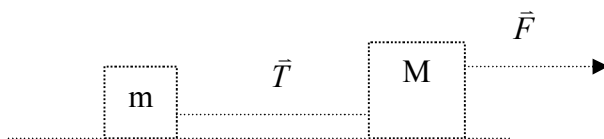
### การใช้กฎของนิวตัน

- เขียนรูปลักษณะการวางตัวของวัตถุ พอให้สื่อความหมาย
- เขียนแรงที่กระทำต่อวัตถุให้ครบทุกแรง เช่น
  - น้ำหนักวัตถุ ( $\vec{W}$ ) ลงแนวตั้ง
  - แรงดึงเชือก ( $\vec{T}$ ) ตามแนวเส้นเชือก
  - แรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ( $\vec{N}$ ) ทุกจุดที่วัตถุพิจารณาสัมผัสกับวัตถุอื่น
  - แรงเสียดทาน ( $\vec{f}$ ) ทิศตรงข้ามกับทิศที่วัตถุเคลื่อนที่
- หาแรงลัพธ์โดยวิธีการทางเวกเตอร์อาจใช้วิธีแยกแรงบางแรงที่ไม่อยู่ในแกน ให้อยู่ในแนวแกน x และแกน y แล้วรวมแรงตามแนวแกนเหล่านั้น ถ้าเป็นพื้นเอียง ให้แนวพื้นเอียงเป็นแกน x และแนวตั้งฉากกับพื้นเอียงเป็นแกน y

4. คำนวณหา ปริมาณที่ต้องการ จากสมการ 
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

5. แรงที่เขียนนั้นต้องเป็นแรงที่กระทำต่อระบบ หรือวัตถุที่พิจารณาเท่านั้น อย่าเขียนแรงที่วัตถุนั้นกระทำต่อวัตถุอื่น

การแก้ปัญหาโจทย์ที่มีมวล 2-3 ก้อน ผูกต่อกันด้วยเชือกเบา ดังรูป



รูป ก มวล m และ M ผูกต่อกันด้วยเชือกวางในแนวระดับ มีแรง F ดึงมวลทั้งสองก้อนไปทางขวา



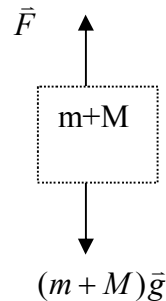
รูป ข มวล  $m$  และ  $M$  ผูกต่อกันด้วยเชือก มีแรง  $F$  ดึงมวลทั้งสองขึ้นในแนวตั้ง

โจทย์มักให้เราแรงดึงในเส้นเชือก  $T$  ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. ยูนมวล 2 ก้อนเป็นก้อนเดียวกัน
2. เขียนแรงทุกแรงที่กระทำต่อมวล
3. หาคความเร่งของระบบ (คิดมวลทั้งสองก้อน)



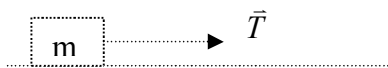
$$a = \frac{F}{m + M}$$



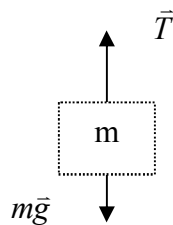
$$a = \frac{F - (m + M)g}{m + M}$$

ข้อสังเกต ความเร่งของระบบมีทิศเดียวกับทิศของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อระบบ

4. พิจารณาเฉพาะมวล  $m$  เขียนแรงที่กระทำต่อมวล  $m$  แล้วหาแรง  $T$  โดยใช้ค่าความเร่ง  $a$  จากข้อ 3



$$T = ma$$



$$T - mg = ma$$

## กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

นิวตันได้เสนอกฎแรงดึงดูดระหว่างมวล ซึ่งมีใจความว่า “วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะออกแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน โดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุคู่หนึ่งๆ จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุทั้งสอง และจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสองนั้น”

ถ้า  $m_1$  และ  $m_2$  เป็นมวลของวัตถุทั้งสองอยู่ห่างกันเป็นระยะ  $R$  ขนาดแรงดึงดูดระหว่างมวล  $F_G$  เป็นไปตามสมการ

$$F_G = \frac{G m_1 m_2}{R^2}$$

$G$  เป็นค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล มีค่า  $6.673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

แรงดึงดูดระหว่างมวลของวัตถุทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แนวเดียวกัน แต่ทิศตรงข้าม ดังนั้นแรงที่โลกดึงดูดวัตถุต่างๆ เท่ากับแรงที่วัตถุนั้นดึงดูดโลก

น้ำหนักของวัตถุบนผิวโลก คือ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุ

จาก  $F_G = \frac{G m_1 m_2}{R^2}$  เขียนได้ว่า  $mg = \frac{G m_e m}{R_e^2}$

เมื่อ  $m$  คือ มวลของวัตถุ  
 $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  
 $m_e$  คือ มวลของโลก  
 $R_e$  คือ รัศมีของโลก

$R$  คือระยะระหว่างมวลทั้งสอง คิดจากศูนย์กลางมวลของวัตถุทั้งสอง ไม่ได้คิดจากผิวของวัตถุ ดังนั้นเมื่อวัตถุวางบนผิวโลก ระยะห่างระหว่างวัตถุกับโลก คือ ระยะจากศูนย์กลางวัตถุถึงศูนย์กลางโลก แต่ขนาดของวัตถุเล็กมากเมื่อเทียบกับโลก ระยะห่างนี้จึงเท่ากับรัศมีของโลกเท่านั้น

เมื่อนำวัตถุมวล  $m$  วางบนดาวเคราะห์  $p$  ที่มีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง  $g_p$  มีมวล  $m$  มีรัศมี  $R_p$  น้ำหนักของวัตถุบนดาวเคราะห์นี้ จึงมีค่าเท่ากับ

$$m g_p = \frac{G m_p m}{R_p^2}$$

## บทที่ 4

### สมดุลกล

การที่วัตถุไม่เปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ เรียกว่า วัตถุอยู่นั้นอยู่ในสมดุลกล สมดุลจำแนกออกได้เป็นสมดุลสถิต และสมดุลจลน์ สมดุลสถิตเป็นสมดุลของวัตถุที่อยู่นิ่ง ส่วนสมดุลจลน์เป็นสมดุลของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว สมดุลสัมบูรณ์ประกอบด้วย สมดุลต่อการเลื่อนที่และสมดุลต่อการหมุน

#### สมดุลต่อการเลื่อนที่

สมดุลต่อการเลื่อนที่ หมายถึงวัตถุไม่เคลื่อนที่ หรือ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

เงื่อนไขของสมดุล แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์ ( $\sum \vec{F} = 0$ )

แยกเป็น แรงซ้าย = แรงขวา  $\sum \vec{F}_x = 0$

แยกเป็น แรงขึ้น = แรงลง  $\sum \vec{F}_y = 0$

สมดุลของแรง 3 แรง

- 1.แรงลัพธ์เท่ากับศูนย์
- 2.แนวแรงทั้งสามอยู่บนระนาบเดียวกัน
- 3.แนวแรงทั้งสามพบกันที่จุดๆ หนึ่ง
- 4.เมื่อนำแรงทั้งสามมาเขียนเวกเตอร์ต่อกันจะได้รูปสามเหลี่ยมปิด

สมดุลของแรงหลายแรง

- 1.แรงลัพธ์เท่ากับศูนย์
- 2.แนวแรงทั้งหมดไม่จำเป็นต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
- 3.แนวแรงทั้งหมดไม่จำเป็นต้องพบกันที่จุดๆ หนึ่ง
- 4.เมื่อนำแรงทั้งหมดมาเขียนเวกเตอร์ต่อกันจะได้รูปเหลี่ยมปิด

การแก้ปัญหาการสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่ง

- 1.แยกวัตถุออกมาเพื่อพิจารณา
- 2.เขียนแรงที่กระทำต่อวัตถุซึ่งได้แยกมา
- 3.แยกแรงแนวเฉียงให้อยู่ในแนวราบกับแนวตั้ง
- 4.เขียนสมการ แรงขวา = แรงซ้าย และแรงขึ้น = แรงลง
- 5.แก้สมการหาค่าที่ต้องการ

**ข้อสังเกต** การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu$ ) โดยการวางวัตถุบนรางไม้แล้วยกปลายข้างหนึ่งของรางไม้ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งวัตถุเลื่อนลงมา มุมนี้คือ มุมเสียดทาน  $\theta$  สรุปได้ว่า

$$\mu = \tan \theta$$

มุมที่วัตถุเริ่มเคลื่อนลงมาเรียกว่ามุมเสียดทานสถิต ( $\theta_s$ ) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ( $\mu_s$ ) หาได้จาก  $\mu_s = \tan \theta_s$

มุมที่วัตถุเลื่อนลงมาด้วยความเร็วคงตัวเรียกว่า มุมเสียดทานจลน์ ( $\theta_k$ ) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ( $\mu_k$ ) หา  $\mu_k = \tan \theta_k$

จากการทดลองพบว่า  $\theta_s > \theta_k$  และ  $\mu_s > \mu_k$   
 ดังนั้น  $f_s$  สูงสุด มีค่ามากกว่า  $f_k$

### สมดุลต่อการหมุน

สมดุลต่อการหมุน หมายถึง วัตถุไม่หมุน หรือหมุนด้วยอัตราเร็วคงตัวรอบแกนเดิม  
 เงื่อนไขของสมดุล : ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุนใดๆ เท่ากับศูนย์ ( $\sum M = 0$ ) หรือ  
 โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา = โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา  
 โมเมนต์ของแรง (M) คือ ผลคูณของแรง (F) กับระยะทางจากจุดหมุนมายังแนวแรง (l)

$$M = Fl$$

โมเมนต์เป็นปริมาณเวกเตอร์ หน่วยของโมเมนต์ คือ นิวตัน เมตร กำหนดให้โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก และให้โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาเป็นลบ

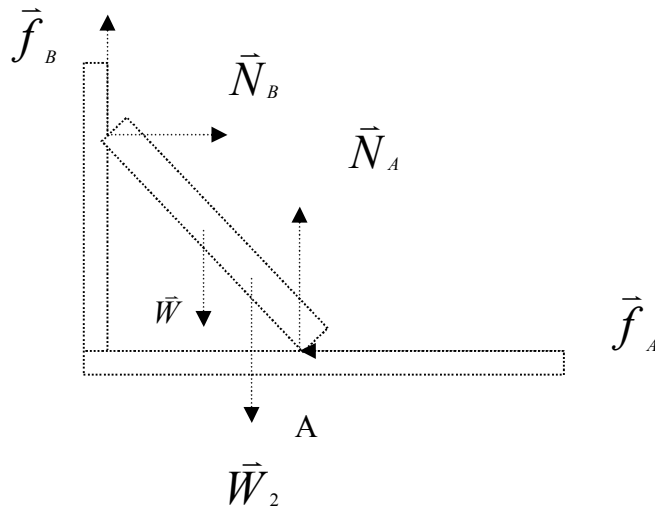
ตัวอย่างการเขียนแรงที่กระทำต่อวัตถุ

1. บันไดวางพิงกำแพงแรงที่กระทำต่อบันไดมีดังนี้
  - 1) น้ำหนักบันได ( $\vec{W}$ ) กระทำลงผ่านจุดศูนย์กลางถ่วง (c.g.)
  - 2) แรงปฏิกิริยาของพื้น ( $\vec{N}_A$ ) กระทำตั้งฉากกับพื้น ณ จุดที่บันไดสัมผัสพื้น
  - 3) แรงปฏิกิริยาของกำแพง ( $\vec{N}_B$ ) กระทำตั้งฉากกับกำแพง ณ จุดที่บันไดสัมผัสกำแพง
  - 4) แรงเสียดทานที่พื้น ( $\vec{f}_A$ ) กระทำแนวขนานกับพื้น ทิศเข้าหากำแพง
  - 5) แรงเสียดทานที่กำแพง ( $\vec{f}_B$ ) กระทำแนวขนานกับกำแพง ทิศขึ้น
  - 6) น้ำหนักของคน ( $\vec{W}_2$ ) ที่ยืนบนบันได

ถ้ากำแพงเกลี้ยงและไม่มีคนยืนบนบันได จะไม่มีแรงในข้อ 5 และข้อ 6

แนวคิด

- เลือก A เป็นจุดหมุน  $\sum M_A = 0$
- แนวแรงผ่านจุด A คือ  $N_A$  และ  $f_A$  ไม่ทำให้เกิดโมเมนต์
- $W$  และ  $W_2$  ทำให้เกิดโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา
- $N_B$  และ  $f_B$  ทำให้เกิดโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา
- เข้าสมการโมเมนต์ทวน = โมเมนต์ตาม

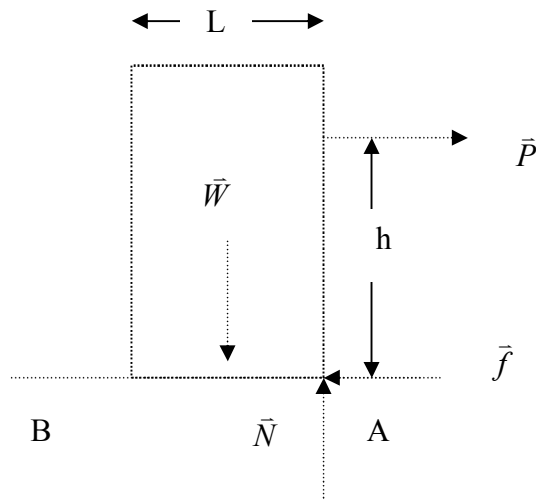


2. กล่องสูง เมื่อออกแรงกระทำต่อกล่องสูงบนพื้นฝืดมีแรงต่างๆ กระทำต่อกล่อง ดังนี้

- 1) น้ำหนัก ( $\vec{W}$ ) ลงผ่านจุด (c.g.)
- 2) แรงปฏิกิริยาดังฉากของพื้น ( $\vec{N}$ )
- 3) แรงเสียดทาน ( $\vec{f}$ )
- 4) แรงดึงกล่อง ( $\vec{P}$ ) ตามที่กำหนด

แนวคิด

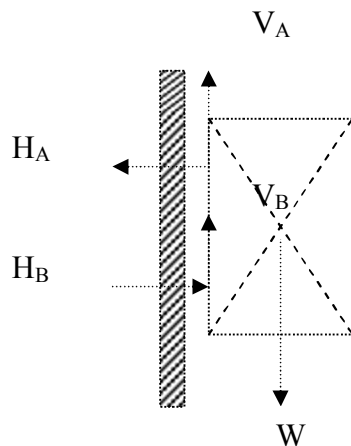
- เมื่อแรง  $P$  หรือความสูง  $h$  มากพอกล่องจะล้ม ที่มุม  $A$  เมื่อให้  $A$  เป็นจุดหมุน แรง  $N$  และ  $f$  ไม่ทำให้เกิดโมเมนต์
- เข้าสมการโมเมนต์ทวน = โมเมนต์ตาม  $W \times \frac{L}{2} = p \times h$
- แก้สมการเพื่อหาปริมาณที่ต้องการ



3. คานติดบานพับ แรงที่กระทำต่อคาน คือ น้ำหนักคาน แรงดึงของเชือก น้ำหนักแขวนที่คานและแรงปฏิกิริยาที่บานพับ

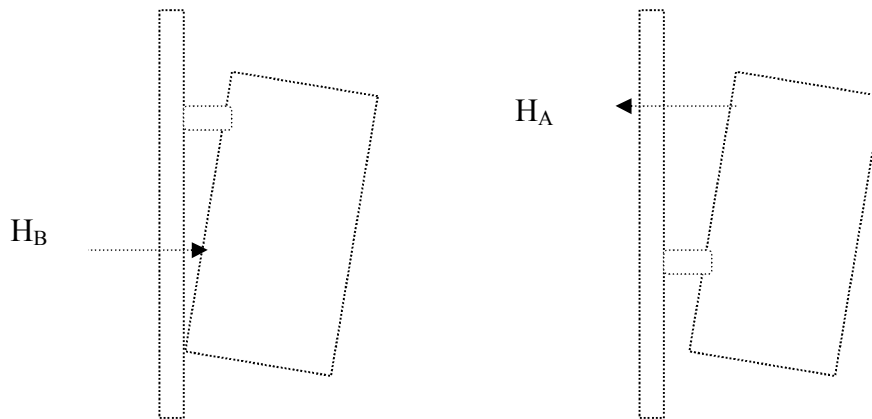
4. บานประตู ตัดบานพับ 2 ตัว ตัวบนที่จุด A ตัวล่างที่จุด B มีแรงกระทำต่อบานประตู 5 แรง ดังรูป

- 1)  $W$  เป็นน้ำหนักบานประตูกระทำ ทิศลงผ่าน c.g.
- 2)  $H_A$  เป็นแรงแนวระดับที่จุด A
- 3)  $H_B$  เป็นแรงแนวระดับที่จุด B
- 4)  $V_A$  เป็นแรงแนวตั้งที่จุด A
- 5)  $V_B$  เป็นแรงแนวตั้งที่จุด B



### ข้อสังเกต

1. แรง  $V_A$  และ  $V_B$  จะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แล้วแต่โจทย์กำหนด ถ้าให้บานพับตัวบนรับน้ำหนักเพียงตัวเดียวจะได้  $V_B = 0$  และ  $V_A = W$
2. แรงแนวระดับจะมีทิศ ดังรูปเสมอ เหตุผล คือ ถ้ามีบานพับตัวบนเพียงตัวเดียว ด้านล่างบานประตูจะเอียงมาทางซ้าย ต้องมีแรง  $H_B$  ดันไว้ และถ้ามีบานพับตัวล่างเพียงตัวเดียว ด้านบนบานประตูจะเอียงไปทางขวา ต้องมีแรง  $H_A$  ดึงไว้ดังรูป



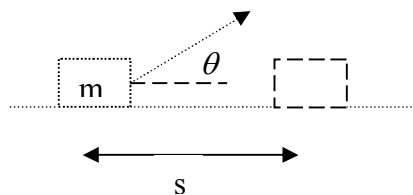
## บทที่ 5

### งานและพลังงาน

#### งาน พลังงาน และกำลัง

1. งาน (work) เป็นผลคูณเชิงสเกลาร์ ของแรง  $F$  และการกระจัด  $s$  หรือกล่าวได้ว่างานเป็น ปริมาณสเกลาร์มีค่าเท่ากับขนาดของแรงคูณกับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนตามทิศทางของแรงในรูป แรง  $F$  ดึงวัตถุมวล  $m$  แนวแรงทำมุม  $\theta$  กับแนวระดับ วัตถุเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะทาง  $s$  ขนาดของ แรงในแนวการเคลื่อนที่ คือ  $F \cos \theta$  ระยะทาง คือ  $s$  ดังนั้นงาน คือ  $(F \cos \theta) (s)$  หรือเขียนได้ว่า

$$W = F \cos \theta \quad \dots(1)$$



$W$  = งาน หน่วยเป็น จูล (J)

$F$  = แรง หน่วยเป็น นิวตัน (N)

$s$  = ระยะทาง หน่วยเป็น เมตร (m)

$\theta$  = มุมระหว่าง  $F$  กับ  $s$

งานอาจมีค่าเป็น +, -, หรือ 0 ก็ได้ พิจารณาจาก  $W = FS \cos \theta$

ถ้า  $\theta = 0^\circ, \cos 0^\circ = 1, \quad W$  เป็น +

$\theta = 90^\circ, \cos 90^\circ = 0, \quad W$  เป็น 0

$\theta = 180^\circ, \cos 180^\circ = -1, \quad W$  เป็น -

2 พลังงาน (energy) เป็นปริมาณสเกลาร์ พลังงานที่เราจะศึกษาในวิชาฟิสิกส์บทนี้คือ พลังงานกล ซึ่งประกอบด้วย พลังงานจลน์ และพลังงานศักย์

1 พลังงานจลน์ (kinetic energy) เป็นพลังงานที่มีอยู่ในวัตถุเคลื่อนที่

2 พลังงานศักย์ (potential energy) เป็นพลังงานที่มีอยู่ในวัตถุนิ่ง

2.1 พลังงานศักย์โน้มถ่วง (gravitational potential energy) มีอยู่ในวัตถุที่อยู่ใน

ตำแหน่งสูงจากระดับอ้างอิง

2.2 พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (elastic potential energy) มีอยู่ในสปริงที่ยืดหรือหดจาก

แนวสมดุลเดิม

สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่างๆ

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p (\text{โน้มถ่วง}) = mgh \quad E_p (\text{ยืดหยุ่น}) = \frac{1}{2}ks^2 \quad F_s = -ks$$

$E_k$  พลังงานจลน์ หน่วยจูล (J)

$E_p$  พลังงานศักย์โน้มถ่วง หน่วยจูล (J)

$E_p$  พลังงานศักย์ยืดหยุ่น หน่วยจูล (J)

$m$  มวล หน่วย กิโลกรัม (kg)

$v$  ความเร็ว หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

$g$  ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง หน่วย เมตร/วินาที (m/s)

$F_s$  แรงกลับคืนของสปริง หน่วย นิวตัน (N)

$k$  ค่าคงตัวสปริง หน่วย นิวตัน/เมตร (N/m)

$s$  ระยะยืดหรือหดสปริง หน่วย เมตร (m)

สมการ  $F = -ks$  เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's law) เครื่องหมายลบ หมายถึง แรงกลับคืน

( $F_s$ ) ของสปริง มีทิศตรงข้ามกับทิศของการกระจัด ( $s$ )

3 กำลัง (power) คือ อัตราของงาน หรืองานต่อเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น วัตต์

$$P = \frac{W}{t} \quad P = \frac{Fs}{t} \quad P = Fv$$

$P$  กำลัง หน่วย วัตต์ (w)

$W$  งาน หน่วย จูล (J)

$t$  เวลา หน่วย วินาที (s)

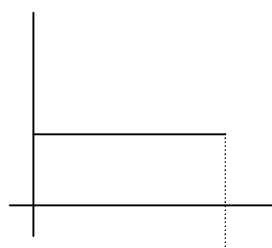
$F$  แรง หน่วย นิวตัน (N)

$v$  ความเร็ว หน่วย เมตร/วินาที(m/s)

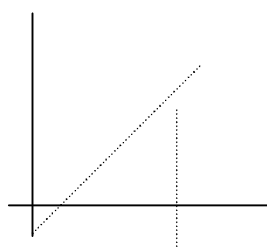
หน่วยของกำลังที่นิยมใช้กันอีกหน่วยหนึ่ง คือ กำลังม้า 1 กำลังม้า (h.p.) = 746 วัตต์

## 5.2 การหางานจากกราฟ

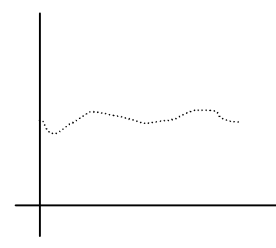
ถ้านำขนาดของแรงและขนาดของการกระจัดมาเขียนกราฟ จะได้กราฟรูปร่างต่างๆ สามารถหางานได้จากพื้นที่ใต้กราฟ



แรงคงตัว



แรงเปลี่ยนแปลง  
สม่ำเสมอ



แรงเปลี่ยนแปลง  
ไม่สม่ำเสมอ

รูปซ้าย	งาน = พื้นที่สี่เหลี่ยม
รูปกลาง	งาน = พื้นที่สามเหลี่ยม
รูปขวา	งาน = พื้นที่รูปปิด ซึ่งหาได้โดยการแบ่งพื้นที่ทั้งหมดเป็นแถบสี่เหลี่ยมเล็กๆหลายๆ แถบแล้วหาพื้นที่แต่ละแถบซึ่งกว้างเท่ากันและยาวต่างกันมารวมกัน จะเป็นพื้นที่ของรูป c

### กฎการอนุรักษ์พลังงาน

งานที่ทำโดยแรงอนุรักษ์ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงสปริง ทำให้พลังงานกลรวมของวัตถุมีค่าคงตัว ถ้าวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากจุด 1 ไปยังจุด 2 จะได้ พลังงานกลรวมที่จุด 2 เท่ากับ พลังงานกลรวมที่จุด 1

$$(E_p + E_k)_2 = (E_p + E_k)_1$$

ในการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ถ้าไม่คิดแรงต้านของอากาศ มีแรงที่กระทำต่อวัตถุเพียงแรงเดียว คือ แรงโน้มถ่วง เมื่อหาพลังงานกลของวัตถุ พบว่า พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์ที่ระดับความสูงต่างๆ มีค่าคงเดิมเสมอ เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของมวลติดสปริง ถ้ามีแรงกระทำต่อมวลเพียงแรงเดียว คือ แรงจากการยืดหรือหดของสปริง เมื่อหาพลังงานกล พบว่าพลังงานจลน์ + พลังงานศักย์ ที่ตำแหน่งต่างๆมีค่าคงตัวเช่นกัน

ถ้ามีแรงภายนอกอื่นๆ เช่น แรงดึง (F) แรงต้าน (f) กระทำต่อวัตถุ ในการเคลื่อนที่จากจุด 1 ไปยังจุด 2 ทำให้เกิดงานของแรงดึงหรือผลัก ( $W_F$ ) และงานของแรงต้าน ( $W_f$ ) จะได้ความสัมพันธ์คือ พลังงานกลที่จุด 2 เท่ากับ พลังงานกลที่จุดที่ 1 บวกกับงานจากแรงดึง ลบ งานจากแรงต้าน

$$(E_p + E_k)_2 = (E_p + E_k)_1 + W_F - W_f$$

## บทที่ 6

### การชนและโมเมนตัม

#### แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม

โมเมนตัม ( $P$ ) เป็นปริมาณที่บอกสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีค่าเท่ากับผลคูณของมวล ( $m$ ) กับความเร็ว ( $v$ ) โมเมนตัม เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางทิศของความเร็ว มีหน่วยเป็นกิโลกรัมเมตร/วินาที

$$\vec{P} = m\vec{v} \quad \dots(1)$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\begin{aligned} \vec{F} &= m\vec{a} \\ \vec{F} &= \frac{m\vec{v} - m\vec{u}}{\Delta t} \quad \dots(2) \end{aligned}$$

$\vec{v}$  = ความเร็วหลังชน

$\vec{u}$  = ความเร็วก่อนชน

$\Delta t$  = เวลาขณะชน

$\vec{F}\Delta t$  เรียกว่า การดล

$\vec{F}$  เรียกว่า แรงดล

ดังนั้น การดล = โมเมนตัมที่เปลี่ยนไป ( $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{P}$ ) และสามารถหาโมเมนตัมที่เปลี่ยนไป ได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรง ( $F$ ) กับเวลา ( $t$ )

#### กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

ในการชนกันของวัตถุและการระเบิด ถ้าแรงลัพธ์ภายนอกที่กระทำต่อวัตถุเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า ผลบวกเวกเตอร์ของโมเมนตัมก่อนเหตุการณ์ มีค่าเท่ากับ ผลบวกเวกเตอร์ของโมเมนตัมหลังเหตุการณ์ ดังนั้น เมื่อวัตถุสองชิ้นมวล  $m_1$  และ  $m_2$  ชนกัน จะได้

$$\begin{aligned} \text{โมเมนตัมรวมก่อนชน } (\sum \vec{P}_1) &= \text{โมเมนตัมรวมหลังชน } (\sum \vec{P}_2) \\ m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 &= m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 \quad \dots(3) \end{aligned}$$

โดยที่  $\vec{u}_1$  และ  $\vec{u}_2$  เป็นความเร็วก่อนการชน และ  $\vec{v}_1$  และ  $\vec{v}_2$  เป็นความเร็วหลังการชน การชนแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ คือการชนที่ผลบวกของพลังงานจลน์ของวัตถุมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในระหว่างการชน ในกรณีของวัตถุ 2 ชิ้น จะได้

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \quad \dots(4)$$

## บทที่ 7

### การเคลื่อนที่ใน 2 มิติ

#### การเคลื่อนที่แบบวงกลม (Circular motion)

วัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมได้นั้น ทิศของการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แสดงว่า ทิศความเร็วเปลี่ยนแปลง กล่าวได้ว่า มีแรงกระทำกับวัตถุให้เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ แรงนี้มีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลม เรียกว่า แรงสู่ศูนย์กลาง

ในการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ เรียกว่า คาบ (T) หน่วยของคาบคือ วินาทีต่อรอบ และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ไปได้ใน 1 วินาที เรียกว่า ความถี่ (f)

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบคือ

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

ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ คือ ความยาวเส้นรอบวง ( $2\pi r$ ) และเวลาครบรอบ คือ คาบ (T) ดังนั้นอัตราเร็ว (v) คือ

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad \text{หรือ} \quad v = 2\pi r f$$

อัตราเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) คือมุม ( $\theta$ ) ที่รัศมีกวาดไปในหนึ่งหน่วยเวลา (t)

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

มุมที่กวาดไป 1 รอบ คือ  $2\pi$  เรเดียน และเวลาครบรอบ คือ คาบ T ดังนั้น

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{หรือ} \quad \omega = 2\pi f$$

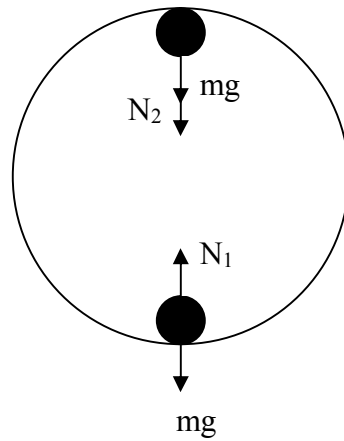
ซึ่ง จากสมการข้างต้น จะได้  $v = \omega r$

ในการทดลองแกว่งลูกยางให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม ได้ความสัมพันธ์ของขนาดแรงสู่ศูนย์กลาง ( $F_c$ ) อัตราเร็ว (v) และรัศมีการเคลื่อนที่คือ (r) คือ

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \text{และจะได้} \quad F_c = m\omega^2 r$$

การเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบตั้ง

พิจารณาลูกกลมโลหะ มวล  $m$  เคลื่อนที่เป็นวงกลมในรางวงกลมรัศมี  $r$  ซึ่งอยู่ในระนาบตั้ง มีแรงกระทำต่อลูกกลมโลหะ 2 แรง คือ น้ำหนักของลูกกลมโลหะ ( $mg$ ) และแรงที่รางดันลูกกลมในแนวตั้งฉากกับผิวของราง ( $N$ ) แรงลัพธ์ของแรงทั้งสองนี้ คือ แรงสู่ศูนย์กลางของลูกกลมโลหะ



ที่ตำแหน่งบนสุด ลูกกลมโลหะ หลุดจากผิวของรางเมื่อ  $\bar{N}_2 = 0$

กรณีลูกกลมอยู่ ณ ตำแหน่งล่างสุด  $N_1 - mg = F_c$

กรณีลูกกลมอยู่ ณ ตำแหน่งบนสุด  $N_2 + mg = F_c$

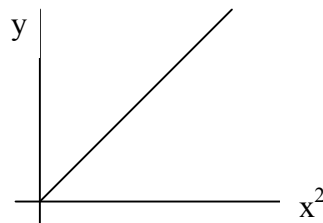
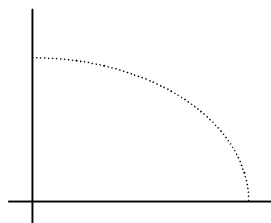
### การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile motion)

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวโค้ง เมื่อวัตถุนั้นถูกยิง หรือโยนขึ้นไปในอากาศ และขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในอากาศ ไม่มีแรงอื่นใดมากระทำกับวัตถุ นอกจากแรงโน้มถ่วงของโลก การเคลื่อนที่ของจรวดหรือบั้งไฟ ขณะยังมีแรงขับเคลื่อนไม่ถือว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ในการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยการปล่อยลูกกลมโลหะจากรางอูมิเนียม พบว่า เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งพาราโบลา ความสัมพันธ์ของการกระจัดในแนวตั้ง ( $y$ ) และการกระจัดในแนวนอน ( $x$ ) คือ

$$y \propto x^2$$

ถ้านำ  $y$  และ  $x^2$  ไปเขียนกราฟ จะได้กราฟเส้นตรง ผ่านจุดกำเนิด ดังรูป



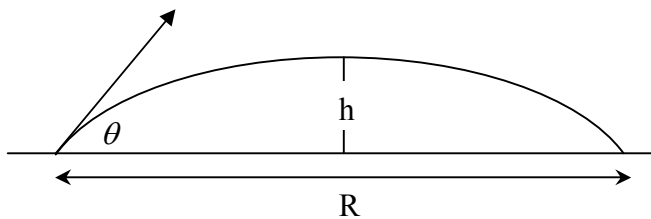
รูปซ้าย เส้นทางการเคลื่อนที่ของโพรเจกไทล์เป็นเส้นโค้งพาราโบลา

รูปขวา กราฟระหว่างการกระจัดในแนวตั้ง ( $y$ ) และการกระจัดในแนวนอน ( $x^2$ )

การคำนวณปริมาณต่างๆ ของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ทำได้เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ โดยแยกคิดทีละแนวดังนี้

การเคลื่อนที่แนวราบ	การกระจัดแนวราบหาได้จาก	$s_x = u_x t$
	ความเร็วในแนวราบมีค่าคงตัว	$v_x = u_x$
การเคลื่อนที่แนวตั้ง	การกระจัดแนวตั้งหาได้จาก	$s_y = u_y t + 1/2gt^2$
	ความเร็วในแนวตั้งหาได้จาก	$v_y = u_y + gt$
		$v_y^2 = u_y^2 + 2gs_y$

กรณีขว้างวัตถุขึ้นจากพื้นด้วยความเร็วต้น  $u$  ในแนวทำมุม  $\theta$  กับแนวราบ วัตถุขึ้นไปได้สูงสุด  $h$  ระยะไกลสุดในแนวราบ  $R$  เวลาที่วัตถุอยู่ในอากาศ สามารถนำสมการ การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ มาสร้างเป็นสมการใหม่ ได้ดังนี้



ความเร็วในแนวราบของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ มีค่าคงตัว

เวลาในอากาศ  $t = \frac{2u \sin \theta}{g}$

ระยะสูงสุดในแนวตั้ง  $h = \frac{u^2 \sin^2 \theta}{g}$

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

สมการทั้งสามข้างต้น ใช้เมื่อวัตถุขึ้นจากพื้นและตกกลับมาสู่พื้นระดับเดียวกันเท่านั้น

## บทที่ 8

### การเคลื่อนที่แบบหมุน

#### ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบหมุน

1 การกระจัดเชิงมุม ( $\Delta\theta$ ) คือมุมที่กวาดไป เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งหาทิศทางได้โดยการใช้มือขวาทำรอบแกนหมุน ให้นิ้วทั้งสี่ชี้ทิศการหมุน นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของการกระจัดเชิงมุม

2 ความเร็วเชิงมุม ( $\vec{\omega}$ ) คืออัตราการกระจัดเชิงมุม มีทิศเดียวกับทิศการการกระจัดเชิงมุม

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

3 ความเร่งเชิงมุม ( $\vec{\alpha}$ ) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุม

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

#### ทอร์ก (Torque)

ทอร์ก ( $\tau$ ) คือโมเมนต์ของแรง เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีขนาดเท่ากับ แรงคูณระยะทางที่ลากจากจุดหมุนมาตั้งฉากกับแนวแรง มีทิศตั้งฉากกับระนาบการหมุน มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

$$\tau = Fr$$

ทอร์ก เรียกว่า แรงบิด เทียบได้กับแรงภายนอก F ของการเคลื่อนที่เชิงเส้น

#### โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

โมเมนต์ความเฉื่อย (I) เป็นปริมาณที่บอกให้ทราบว่ามวลของวัตถุที่หมุน มีการกระจายรอบแกนหมุนอย่างไร

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

และเป็นปริมาณที่ บอกสมบัติการด้านการเปลี่ยนสภาพการหมุน หรือ เป็นความเฉื่อยของการหมุนของวัตถุ เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วย กิโลกรัม-เมตร<sup>2</sup> โมเมนต์ความเฉื่อย มีความสัมพันธ์กับทอร์ก และความเร่งเชิงมุมคือ

$$\tau = I\alpha$$

โมเมนต์ความเฉื่อยเทียบได้กับมวล m และสมการนี้เทียบได้กับ  $\vec{F} = m\vec{a}$

## โมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum)

โมเมนตัมเชิงมุม (L) คือผลคูณระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อยและความเร็วเชิงมุมของวัตถุ เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม เมตร<sup>2</sup>/วินาที

$$L = I\omega$$

สมการนี้เทียบได้กับ  $\vec{P} = m\vec{v}$

## กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม

ถ้าผลรวมของทอร์กที่กระทำต่อวัตถุที่กำลังหมุนเท่ากับศูนย์ ทำให้ความเร็วเชิงมุมของวัตถุ มีค่าคงตัว และทำให้วัตถุมีโมเมนตัมเชิงมุมคงตัว

$$L_1 = L_2$$

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

## 8.6 พลังงานจลน์ของการหมุน

เมื่อวัตถุเช่นวงล้อหมุน จะมีพลังงานจลน์การหมุนขึ้น หาพลังงานจลน์นี้ได้จาก

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

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

สมการนี้เทียบได้กับ

## พลังงานจลน์การกลิ้ง

วัตถุที่เคลื่อนที่แบบกลิ้ง เช่น ล้อรถนั้น จะมีการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ เคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ และเคลื่อนที่แบบหมุน พลังงานจลน์การกลิ้ง จึงเกิดจากพลังงานทั้งสองส่วนรวมกัน

$$E_k \text{ การกลิ้ง} = E_k \text{ เลื่อนที่} + E_k \text{ การหมุน}$$

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

เปรียบเทียบปริมาณและสมการการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ด้วยความเร่งคงตัว กับ การเคลื่อนที่แบบหมุนรอบแกนอยู่กับที่ด้วยความเร่งเชิงมุมคงตัว

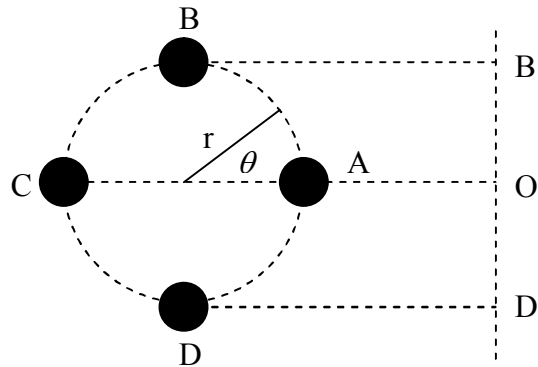
การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง		การหมุนรอบแกนตั้ง	
การกระจัด	s	การกระจัด	$\theta$
ความเร็ว	v	ความเร็วเชิงมุม	$\omega$
ความเร่ง	a	ความเร่งเชิงมุม	$\alpha$
มวล	m	โมเมนต์ของความเฉื่อย	$I$
แรง	F	ทอร์ก	$\tau$
งาน	Fs	งาน	$\tau\theta$
พลังงานจลน์	$(\frac{1}{2})mv^2$	พลังงานจลน์การหมุน	$(\frac{1}{2})I\omega^2$
กำลัง	Fv	กำลัง	$\tau\omega$
โมเมนตัม	mv	โมเมนตัมเชิงมุม	$I\omega$
$v = u + at$		$\omega = \omega_0 + \alpha t$	
$s = ut + \frac{1}{2}at^2$		$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$	
$v^2 = u^2 + 2as$		$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha s$	

## บทที่ 9

### การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และคลื่น

#### การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (SIMPLE HARMONIC MOTION)

พิจารณาวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี  $R$  ในแนวตั้งด้วยอัตราเร็วคงตัวในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังรูป



วัตถุเริ่มเคลื่อนที่เป็นวงกลม จากจุด A, B, C, D และไป A ครบ 1 รอบ เงามของวัตถุบนผนังจะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง จาก  $O' B' O' D' O'$  ครบ 1 รอบ เช่นกัน

การเคลื่อนที่ของเงาของวัตถุนี้ เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (SHM) โดยมีจุด  $O'$  เป็นจุดสมดุล ระยะ  $O'B'$  ซึ่งเป็นการกระจัดมากที่สุด เรียกว่า แอมพลิจูด ( $R$ )

วัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ซ้ำรอยเดิม ด้วยคาบเวลาคงตัว มีแรงที่เปลี่ยนแปลงกระทำต่อวัตถุ โดยแรงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการกระจัดแต่มีทิศตรงข้าม

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนั้น การกระจัด ( $y$ ) ความเร็ว ( $v$ ) และความเร่ง ( $a$ ) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ( $t$ ) จากรูปข้างบนสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$y = R \sin \omega t$$

$$v = \omega R \cos \omega t$$

$$a = -\omega^2 R \sin \omega t$$

ถ้ากำหนดการกระจัดมาให้ สามารถหาความเร็วและความเร่ง ที่การกระจัด  $x$  ใดๆ จากสมการดังนี้

$$v = \omega \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$a = -\omega^2 x$$

$y$  และ  $x$             การกระจัด

$v$                         ความเร็ว

$a$                         ความเร่ง

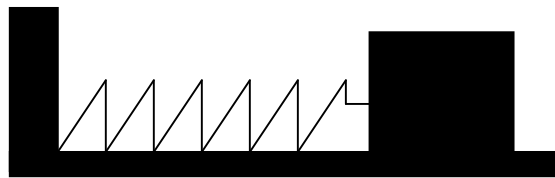
$\omega$                       ความเร็วเชิงมุม =  $\frac{2\pi}{T}$  เมื่อ  $T$  คือคาบการเคลื่อนที่

$\omega t$                     มุมเฟส เมื่อ  $t$  คือเวลา

$R$                         แอมพลิจูด

ตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่น่าสนใจคือ การเคลื่อนที่ของมวลผูกติดกับสปริง และการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย

1 การเคลื่อนที่ของมวลที่ผูกติดกับปลายสปริง



ขนาดของแรงดึงของสปริง มีค่ามากที่สุด เมื่อมวลอยู่ห่างจากตำแหน่งสมดุลมากที่สุด ดังนั้น แรงดึงของสปริงแปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศตรงข้าม

$F \propto -x$             เมื่อ  $F$  คือแรงดึงสปริงและ

$x$  คือ การกระจัดของมวล = ระยะยืดหรือหดของสปริง

$F = -kx$              $k$  คือค่าคงตัวสปริง มีหน่วยเป็นนิวตัน/เมตร

สมการนี้เรียกว่ากฎของฮุก (Hooke's law)

มวลและค่าคงตัวสปริง มีความสัมพันธ์กับคาบการเคลื่อนที่ของมวลดังสมการ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

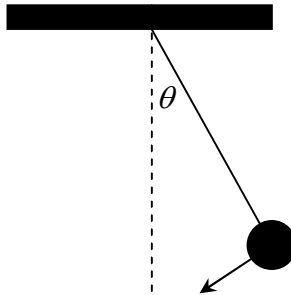
$T$             =            คาบ หน่วย วินาที (s)

$m$             =            มวล หน่วย กิโลกรัม (kg)

$k$             =            ค่าคงตัวสปริง หน่วย นิวตัน/เมตร

## 2 การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย

ลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple pendulum) ประกอบด้วยวัตถุแขวนไว้ด้วยเชือกเบา อีกปลายหนึ่งของเชือกตรึงไว้ให้อยู่กับที่ เมื่อดึงลูกตุ้มออกไปจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อย ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่กลับไปมาตามส่วนโค้งของวงกลม ดังรูป



ถ้ามุม  $\theta$  มีขนาดเล็กมาก เส้นทางที่ลูกตุ้มเคลื่อนที่ ถือว่าเป็นเส้นตรง แรงที่นำลูกตุ้มกลับสู่ตำแหน่งสมดุล แปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศตรงข้าม ลูกตุ้มแกว่งโดยมีแอมพลิจูดคงตัว ดังนั้นการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย หาได้ดังนี้

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

$T$  คาบ หน่วยเป็นวินาที (s)

$l$  ความยาวลูกตุ้ม หน่วยเมตร (m)

$g$  ความเร่งจากสนามโน้มถ่วง หน่วย เมตร/วินาที<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

## คลื่น

คลื่นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1 คลื่นกล เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่นคลื่นผิวน้ำ คลื่นเส้นเชือก คลื่นเสียง

2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้ เช่น คลื่นแสง คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ

ถ้าพิจารณาการสั่นของอนุภาคตัวกลางกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น จะแบ่งคลื่นออกได้เป็น

2 ประเภทคือ

1 คลื่นตามขวาง อนุภาคตัวกลางสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

2 คลื่นตามยาว อนุภาคตัวกลางสั่นในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น

## 1 อัตราเร็วคลื่น

$$v = f\lambda$$

$v$  คือ อัตราเร็วคลื่น หน่วย เมตร/วินาที

$f$  คือ ความถี่ หน่วย รอบ/วินาที

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น หน่วย เมตร

## 2 การสะท้อนของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่กระทบกับสิ่งกีดขวาง คลื่นจะสะท้อนกลับ

การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก เฟสของคลื่นสะท้อนขึ้นอยู่กับปลายอีกข้างหนึ่งของเชือก

1 ปลายตรึง คลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้าม

2 ปลายอิสระ คลื่นสะท้อนมีเฟสเดิม

## การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ

คลื่นจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางเรียกว่า คลื่นตกกระทบ และคลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากสิ่งกีดขวางเรียกว่า คลื่นสะท้อน มุมที่ทิศของคลื่นตกกระทบกระทำกับเส้นแนวฉาก เรียกว่า มุมตกกระทบ และมุมที่ทิศของคลื่นสะท้อนกระทำกับแนวฉากเรียกว่า มุมสะท้อน จากการทดลองจะพบว่า มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

## 3 การหักเหของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง คลื่นจะหักเหเข้าไปในตัวกลางที่ 2 ในกรณีคลื่นน้ำความเร็วของคลื่นขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ ความเร็วของคลื่นในน้ำตื้นจะลดลงเนื่องจากความเสียดทานระหว่างน้ำกับพื้นดินใต้น้ำ ทำให้ความยาวคลื่นลดลงด้วย ทิศของคลื่นจึงเปลี่ยนไปจากเดิม สาเหตุสำคัญที่ทำให้คลื่นหักเห คือ ความเร็วของคลื่นในตัวกลางทั้งสองไม่เท่ากัน

จากการทดลองพบว่า ในตัวกลางคู่หนึ่ง อัตราส่วนระหว่าง sine ของมุมตกกระทบ ต่อ sine ของมุมหักเห มีค่าคงตัวเสมอ และมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นและอัตราเร็วคลื่นดังสมการ

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

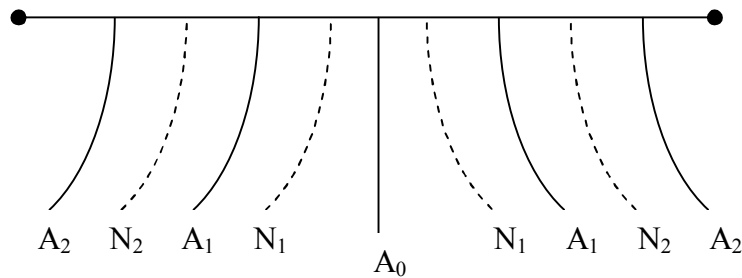
$\theta$  คือ มุมตกกระทบ/มุมหักเห

$v$  คือ อัตราเร็วคลื่นในแต่ละตัวกลาง

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในแต่ละตัวกลาง

#### 4 การแทรกสอดของคลื่น

เมื่อมีคลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง มีความถี่เท่ากัน แอมพลิจูดเท่ากัน และ เฟสตรงกัน เคลื่อนที่เข้าหากัน จะเกิดการรวมกันขึ้น ถ้าเป็นการรวมแบบเสริมกันทำให้เกิดเป็นแนวคลื่น เรียกว่า แนวปฏิบัพ (antinode) และถ้าเป็นการรวมแบบหักล้างกันทำให้เกิดเป็นแนวไม่มีคลื่น เรียกว่า แนวยบัพ (node)



แนว  $A_0$  เรียกว่า แนวยบัพกลาง

แนว  $N_1$  เรียกว่า แนวยบัพที่ 1

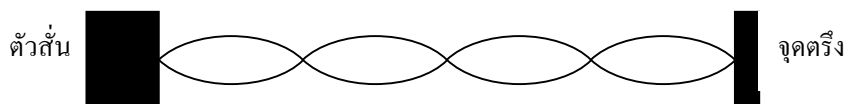
แนว  $A_1$  เรียกว่า แนวปฏิบัพที่ 1

แนว  $N_2$  เรียกว่า แนวยบัพที่ 2

ถ้า  $s_1$  และ  $s_2$  มีเฟสตรงข้าม แนวกลางจะเป็นแนวที่คลื่นหักล้างกัน ( $N_0$ )

#### 5 คลื่นนิ่ง

คลื่นนิ่งในเส้นเชือก เกิดจากการแทรกสอดระหว่างคลื่นดังรูป



ระยะจากบัพถึงบัพ เช่น  $AB = 1 \text{ loop} = \frac{\lambda}{2}$

ดังนั้น ความยาวคลื่น = 2 loop

การเขียนรูปเพื่อหาจำนวนแนวปฏิบัพที่ได้จากแหล่งกำเนิดอาพันธ์

1 ถ้าแหล่งกำเนิดทั้งสองมีเฟสตรงกัน ตรงกลางจะเป็นแนวปฏิบัพ (โป่ง)

2 ถ้าแหล่งกำเนิดทั้งสองมีเฟสตรงกันข้าม ตรงกลางจะเป็นแนวยบัพ (จุด)

3 เขียนจำนวน loop แรกโดยเริ่มจากตรงกลางให้  $1 \text{ loop} = \frac{\lambda}{2}$

4 เขียน loop ต่อไปทั้งซ้ายและขวาจนถึงแหล่งกำเนิดทั้งสอง

## 6 การเลี้ยวเบนของคลื่น

เมื่อคลื่นกระทบสิ่งกีดขวางบางส่วน คลื่นจะอ้อมไปด้านหลังสิ่งกีดขวางนั้น เรียกว่า การเลี้ยวเบนของคลื่น ซึ่งอธิบายโดยหลักของฮอยเกนส์ ถ้าเปิดช่องกว้างน้อยกว่าความยาวคลื่น การเลี้ยวเบนจะไม่มีแนวบัพ ถ้าเปิดช่องกว้างเท่ากับหรือ มากกว่าความยาวคลื่น จะมีแนวบัพเกิดขึ้น จำนวนแนวบัพ จะหาได้จากสมการคือ

$$S_1P - S_2P = n\lambda$$

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

$$d \frac{x}{L} = n\lambda$$

เมื่อ  $d$  คือความกว้างของช่องเปิด

## บทที่ 10

### เสียง

#### ความเข้มและระดับความเข้มเสียง

กำลังเสียง คือ พลังงานเสียงที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดในหนึ่งหน่วยเวลา

$$P = \frac{W}{t}$$

P เป็นกำลังเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

W เป็นพลังงานเสียง มีหน่วยเป็นจูล (J)

t เป็นเวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)

ความเข้มเสียง คือ กำลังเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ทรงกลม

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

I เป็นความเข้มเสียง มีหน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร

A เป็นพื้นที่ทรงกลม มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

R เป็นรัศมีทรงกลม มีหน่วยเป็น เมตร

ระดับความเข้มเสียง เป็นตัวเลขที่ใช้บอกความดังของเสียง

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

L เป็นระดับความเข้มเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล

$I_0$  เป็นความเข้มเสียงต่ำสุดที่ได้ยิน =  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>

I เป็นความเข้มเสียงใดๆ

ถ้ากำลังเสียง (P) คงที่  $I \propto \frac{1}{r^2}$  จะได้

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

การเปรียบเทียบระดับความเข้ม

$$L_1 - L_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_2}$$

## ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$f = f_s \left( \frac{v \pm v_l}{v \pm v_s} \right)$$

f เป็นความถี่ที่ผู้ฟังได้ยิน

$f_s$  เป็นความถี่ของแหล่งกำเนิด

v เป็นอัตราเร็วของเสียง

$v_L$  เป็นอัตราเร็วของผู้ฟัง

$v_s$  เป็นอัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง

ความถี่เสียงที่ปรากฏต่อผู้ฟัง ถ้ายิ่งใกล้กัน เสียงสูงขึ้น ถ้ายิ่งห่างกัน เสียงต่ำลง

คลื่นกระแทก เกิดขึ้นเมื่อ แหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนเร็วกว่าคลื่น เช่น เครื่องบินเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วเสียง จะเกิดคลื่นกระแทก โดยหน้าคลื่นกระแทกเป็นรูปกรวย

สูตรในเรื่องคลื่นกระแทกคือ

$$\sin \theta = \frac{v}{v_s}$$

$v_s t$  ระยะทางที่เครื่องบินเคลื่อนที่

vt ระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่

## การแทรกสอดของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดสองแหล่งเคลื่อนที่มาพบกัน จะเกิดการแทรกสอดทำให้เกิดแนวบัพและปฏิบัพขึ้น โดยที่แนวบัพเป็นแนวที่มีเสียงค่อย และแนวปฏิบัพเป็นแนวที่มีเสียงดังมากที่สุด การคำนวณหาแนวบัพและแนวปฏิบัพ ทำได้เช่นเดียวกับเรื่องคลื่น

## บีตส์

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นสองชุดที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย มาพบกัน เกิดการรวมกัน ทำให้ได้ยินเสียงดัง ค่อย เป็นจังหวะ เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เราจะได้ยินเสียงบีตส์ชัดเจน เมื่อความถี่จากแหล่งกำเนิดทั้งสองต่างกันไม่เกิน 7 เฮิรตซ์ ความถี่บีตส์คือผลต่างของความถี่ทั้งสอง

## การหักเหของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดการหักเห ปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของการหักเหของเสียง คือ การเห็นฟ้าแลบ แล้วได้ยินเสียงฟ้าร้อง เพราะคลื่นเสียงหักเหกลับสู่อากาศตอนบน อันเนื่องมาจากอากาศใกล้พื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศในที่สูงขึ้นไป

## คุณภาพเสียง

ความถี่ต่ำสุดที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียง เรียกว่า ความถี่มูลฐาน ความถี่อื่นๆที่เกิดพร้อมกับความถี่มูลฐานแต่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐาน เรียกว่า ความถี่ฮาร์โมนิก เสียงจากเครื่องดนตรีต่างๆไม่เหมือนกัน แม้ว่า จะเล่น โน้ตเดียวกัน เนื่องจากในขณะที่เกิดเสียง จะมีความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกออกมาพร้อมกันเสมอ แต่จำนวนฮาร์โมนิกและความเข้มของแต่ละฮาร์โมนิกไม่เท่ากัน ทำให้เสียงมีลักษณะเฉพาะตัวที่ต่างกัน เรียกว่า คุณภาพเสียงต่างกัน

## บทที่ 11

### แสง

เมื่อแสงกระทบผิวเรียบ เช่นกระจก จะเกิดการสะท้อนซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อนคือ

1 รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน

2 มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

กระจกมี 2 ชนิด คือ กระจกราบ และกระจกโค้ง

ภาพจากกระจกราบ เป็นภาพหัวตั้ง ขนาดเท่ากับวัตถุ อยู่หลังพื้นผิวสะท้อนเป็นระยะเท่ากับระยะที่วัตถุอยู่หน้ากระจก ภาพนี้เป็นภาพเสมือน

กระจกโค้งมี 2 ชนิด คือ กระจกเว้า และกระจกนูน ภาพจากกระจกโค้งมีหลายแบบ คือ มีทั้งภาพจริง ภาพเสมือน ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

เมื่อแสงตกกระทบผิวของวัตถุโปร่งใส แสงส่วนหนึ่งสะท้อนออกไป แสงอีกส่วนหนึ่งจะผ่านเข้าไปในตัวกลางโปร่งใสนั้น เรียกว่าการหักเห ซึ่งเป็นไปตามกฎการหักเห คือ

1 รังสีตกกระทบ รังสีหักเห และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน

2 สำหรับตัวกลางคู่หนึ่ง อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบ กับไซน์ของมุมหักเหมีค่าคงตัว ความสัมพันธ์นี้ เรียกว่า กฎของสเนลล์  
การคำนวณหาปริมาณต่างๆ จากเรื่องกระจกและเลนส์

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

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

f เป็นความยาวโฟกัส

s เป็นระยะวัตถุ

s' เป็นระยะภาพ

y เป็นขนาดวัตถุ

y' เป็นขนาดภาพ

กำหนดเครื่องหมายดังนี้

ความยาวโฟกัสของกระจกเว้าและเลนส์นูน เป็นบวก

ความยาวโฟกัสของกระจกนูนและเลนส์เว้า เป็นลบ

ระยะภาพจริงเป็นบวก ระยะภาพเสมือนเป็นลบ

จากสมการข้างบน สามารถกำจัด s' ได้เป็น

$$m = \frac{f}{s - f}$$

m คือ การขยาย ถ้าเป็นภาพจริง m เป็นบวก ถ้าเป็นภาพเสมือน m เป็นลบ ภาพจากกระจกเงาโค้งและเลนส์สรุปได้ดังนี้

อุปกรณ์	ภาพจริง		ภาพเสมือน	
	ใหญ่	เล็ก	ใหญ่	เล็ก
กระจกเว้า	✓	✓	✓	
กระจกนูน				✓
เลนส์นูน	✓	✓	✓	
เลนส์เว้า				✓

จากตารางจะเห็นว่า กระจกเว้าและเลนส์นูน ให้ภาพเหมือนกัน คือ ให้ภาพจริง หัวกลับ มีหลายขนาด ให้ภาพเสมือนหัวตั้ง มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ส่วนที่ต่างกัน คือ ภาพจริงจากกระจกเว้า อยู่หน้ากระจก ส่วนภาพจริงจากเลนส์นูน อยู่หลังเลนส์

กระจกนูนและเลนส์เว้า ให้ภาพเสมือนที่มีขนาดเล็กกว่าวัตถุ ส่วนกระจกเงาราบให้ภาพเสมือนขนาดเท่ากับวัตถุ

### การหักเหที่ผิวราบ และมุมวิกฤต

จากกฎของสเนลล์ ซึ่งกล่าวว่า สำหรับตัวกลางคู่หนึ่ง อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบ กับไซน์ของมุมหักเหมีค่าคงตัว

เขียนได้ว่า 
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \text{ค่าคงตัว}$$

ค่าคงตัวนี้ คือ ครรชนหักเหของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

$\theta_1$  เป็นมุมตกกระทบ ในตัวกลางที่ 1

$\theta_2$  เป็นมุมหักเห ในตัวกลางที่ 2

และมีความสัมพันธ์กับปริมาณต่างๆดังนี้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  เป็นความยาวคลื่นแสงในตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ

$n_1$  และ  $n_2$  เป็นครรชนหักเหของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ

$v_1$  และ  $v_2$  เป็นอัตราเร็วของแสงในตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ

มุมวิกฤต ( $\theta_c$ ) คือ มุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเป็นมุม  $90^\circ$

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

## การแทรกสอด

การแทรกสอดของแสงเกิดขึ้นได้ เมื่อมีแสง 2 ชุด จากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ มาพบกันทำให้เกิดแถบสว่าง เมื่อเป็นการแทรกสอดแบบเสริมกัน และเกิดแถบมืดเมื่อเป็นการแทรกสอดแบบหักล้าง

แหล่งกำเนิดอาพันธ์ ทำได้โดยการให้แสงจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ไปกระทบกับฉากทึบที่เจาะเป็นช่องเล็กยาว 2 ช่อง ใกล้เคียงกัน แสงที่ออกจากช่องทั้งสองคือแสงอาพันธ์ ช่องนี้เรียกว่า สลิต (slit)

เกรตติง (grating) เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้หาความยาวคลื่นของแสง ทำจากวัสดุโปร่งใส ที่มีการขีดเส้นขนานหลายเส้นลงบนผิวของแผ่น ช่องว่างระหว่างเส้นที่ถูกขีด จะทำหน้าที่เป็นช่องเล็กยาว ซึ่งสามารถผ่านได้ ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนและแทรกสอดขึ้น

การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ และเกรตติง ทำให้เกิดแถบสว่าง และแถบมืดขึ้นบนฉาก สามารถคำนวณหาแถบสว่างและแถบมืด ได้สมการข้างล่าง

$$d \sin \theta = \frac{dx}{L} = n\lambda \quad n=0,1,2,\dots$$

$$d \sin \theta = \frac{dx}{L} = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad n=1,2,3,\dots$$

d เป็นระยะระหว่างช่องของสลิตคู่ หรือเกรตติง

$\theta$  เป็นมุมที่เบนจากแนวกลาง ถึงจุดที่พิจารณา

x เป็นระยะจากแนวกลาง ถึงจุดที่พิจารณา

L เป็นระยะจากสลิตถึงฉาก

$\lambda$  เป็นความยาวคลื่น

การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว เมื่อแสงผ่านสลิตเดี่ยวจะเกิดการเลี้ยวเบนและไปแทรกสอดบนฉาก ผลการแทรกสอดพบว่า แถบสว่างกลางมีความเข้มมากที่สุด และมีความกว้างมากกว่าแถบสว่างอื่นๆ

ในการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยว คำนวณหาแถบมืด ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\text{แถบมืด} \quad d \sin \theta = \frac{dx}{L} = n\lambda$$

n เป็น 0,1,2,.....

d เป็นความกว้างของช่องสลิตเดี่ยว

## ความสว่าง

ความสว่างบนพื้นที่ใดๆ ที่รับแสงหาได้จาก อัตราการให้พลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่ใด ๆ ต่อพื้นที่ที่รับแสง

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

E เป็นความสว่าง มีหน่วยเป็นลูเมนส์ต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (lx)

F เป็นอัตราการให้พลังงานแสง มีหน่วยเป็น ลูเมน (lm)

A เป็นพื้นที่รับแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m<sup>2</sup>)

ถ้า F คงตัวจะได้

$$E \propto \frac{1}{A} \quad \text{หรือ} \quad E \propto \left(\frac{1}{4\pi R^2}\right) \quad \text{หรือ} \quad E \propto \frac{1}{R^2}$$

## บทที่ 12

### ไฟฟ้าสถิต

#### แรงระหว่างประจุ

กฎของคูลอมบ์กล่าวว่า แรงระหว่างประจุมีค่าแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุและแปรผันตรงกับผลคูณระหว่างประจุทั้งสอง

$$F = \frac{KQq}{r^2}$$

F เป็นแรงระหว่างประจุมีหน่วยเป็น นิวตัน(N)

Q, q เป็นประจุทั้งสองมีหน่วยเป็น คูลอมบ์(C)

r เป็นระยะห่างระหว่างประจุมีหน่วยเป็นเมตร (m)

K เป็นค่าคงตัวการแปรผัน =  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$

#### สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า เป็นบริเวณที่มีแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้า แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยประจุบวก ซึ่งวาง ณ ตำแหน่งใดๆ คือ ขนาดของสนามไฟฟ้า ทิศของสนามไฟฟ้า คือทิศของแรงที่กระทำต่อประจุบวก ณ ตำแหน่งนั้น สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น นิวตัน/คูลอมบ์

$$E = \frac{F}{+q}$$

E เป็นสนามไฟฟ้า

+q เป็นประจุนำมาวางในสนามไฟฟ้า

F เป็นแรงที่กระทำต่อประจุ +q

ถ้านำประจุทดสอบ +q วางห่างจากประจุ Q เป็นระยะ r สนามไฟฟ้า E ณ จุดที่วางประจุ +q

$$E = \frac{KQ}{r^2}$$

หาได้จาก

แรง F และสนามไฟฟ้า E เป็นปริมาณเวกเตอร์ การคำนวณไม่ต้องใส่เครื่องหมายของประจุ

ลงในสมการ

#### ศักย์ไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้า (q) ที่อยู่ในสนามไฟฟ้า (E) จะมีพลังงานศักย์ เรียกว่า พลังงานศักย์ เรียกว่า พลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_p$ ) พลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุ เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้า(V) ณ ตำแหน่งนั้น ศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$$V = \frac{E_p}{q}$$

งานที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ประจุ +1 คูლობบ จากตำแหน่งหนึ่ง ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ภายในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า คือ ความต่างศักย์ระหว่าง 2 ตำแหน่งนั้น

$$V_B - V_A = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$$

$V_A$  และ  $V_B$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง A และ B ตามลำดับ

$W_{A \rightarrow B}$  คือ งานในการเคลื่อนที่ประจุ จาก A ไปยัง B

ศักย์ไฟฟ้า เนื่องจากจุดประจุ

ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งซึ่งอยู่ห่างจากประจุ Q เป็นระยะทาง r หาได้จาก

$$V = \frac{kQ}{r}$$

ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุนบนตัวนำทรงกลม

เมื่อให้ปริมาณประจุ q แก่ตัวนำทรงกลมรัศมี a ศักย์ไฟฟ้า V ที่ตำแหน่งใดๆ ในตัวนำทรงกลม นับจากผิวเข้าไปมีค่าเป็น

$$V = \frac{kQ}{a}$$

ศักย์ไฟฟ้า V เป็นปริมาณสเกลาร์ ต้องแทนเครื่องหมายของประจุลงในสมการด้วย ถ้ามี V หลายค่า หา V รวมได้โดยบวก ลบ กันเหมือนเลขธรรมดา

### ความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ให้ A และ B เป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ E และห่างจากกันเป็นระยะ d จะได้ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_B - V_A$ ) สนามไฟฟ้าและระยะทาง คือ

$$E = \frac{V_B - V_A}{d}$$

เมื่ออนุภาคที่มีประจุถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ พลังงานจลน์ของอนุภาคนั้นจะเท่ากับ

พลังงานศักย์ไฟฟ้า

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

## ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า

ตัวเก็บประจุ เป็นตัวนำ 2 ตัว ถูกค้นไว้ด้วยฉนวน ตัวนำทั้งสองมีประจุเท่ากัน แต่เป็นชนิดตรงข้ามประจุรวมบนตัวเก็บประจุจึงเป็นศูนย์

ความจุไฟฟ้า เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดของประจุ บนตัวนำแผ่นหนึ่งกับขนาดของความต่างศักย์ระหว่างตัวนำทั้งสองนั้น

$$C = \frac{Q}{V}$$

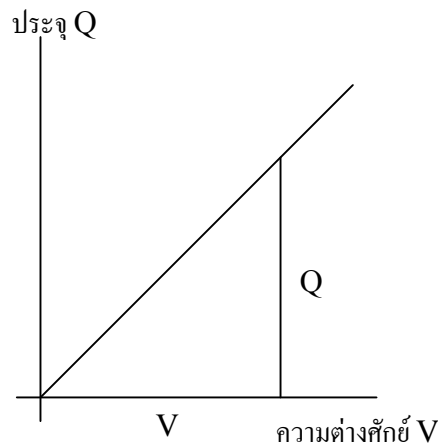
C เป็นความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

Q เป็นประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

V เป็นความต่างศักย์มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ มีค่าเท่ากับงานในการเคลื่อนประจุให้แก่ตัวเก็บประจุสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง V กับ Q ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{งานในการเคลื่อนประจุ } W &= \text{พื้นที่ใต้กราฟ} = V(0+Q)/2 \\ &= \frac{1}{2} QV \end{aligned}$$



ถ้าให้ U เป็นพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ หน่วยจูล (J) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$U = \frac{1}{2} hQV$$

## การต่อตัวเก็บประจุ

1 การต่อแบบขนาน ความจุรวมมีค่าเท่ากับผลบวกของความจุแต่ละตัว

เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบขนานจะได้

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

ตามกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

ดังนั้น

$$CV = C_1V + C_2V + C_3V + \dots + C_nV$$

นั่นคือ

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

2 การต่อแบบอนุกรม ส่วนกลับของความจุรวมมีค่าเท่ากับผลบวกของส่วนกลับของความจุแต่ละตัว

เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบอนุกรมจะได้

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

แต่  $V = \frac{q}{C}$

ดังนั้น  $\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} + \dots + \frac{q}{C_n}$

นั่นคือ  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$

## บทที่ 13

### ไฟฟ้ากระแสตรง

#### กระแสไฟฟ้าในตัวนำ

กระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ เท่ากับประจุไฟฟ้าที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลางนั้นในหนึ่งหน่วยเวลา

$$I = \frac{Q}{t}$$

I เป็นกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

Q เป็นประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

t เป็นเวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)

กระแสไฟฟ้า, จำนวนอิเล็กตรอนและความเร็วลอยเลื่อนมีความสัมพันธ์กัน ดังสมการ

$$I = nevA$$

n เป็นจำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็นต่อลูกบาศก์เมตร ( $m^3$ )

e เป็นประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนอิสระ มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

v เป็นขนาดของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

A เป็นพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวนำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร ( $m^2$ )

#### กฎของโอห์ม

กฎของโอห์มมีใจความว่า ที่อุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำหนึ่ง จะมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น

เขียนได้ว่า  $I \propto V$  ซึ่งค่าคงตัวของการแปรผันของสมการนี้ คือ ค่าความต้านทานของตัวนำนั้น

$$\frac{V}{I} = R$$

V เป็นความต่างศักย์ระหว่างปลายลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

I เป็นกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

R เป็นความต้านทานของตัวนำนั้น มีหน่วยเป็นโอห์ม ( $\Omega$ )

ความต้านทาน(R) มีค่าแปรผันตรงกับความยาวของลวดโลหะ (l) และแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวาง (A) ของลวดโลหะ

$$R \propto \frac{l}{A} \quad \text{ดังนั้น} \quad R = \rho \frac{l}{A}$$

$\rho$  เรียกว่า สภาพต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์มเมตร ( $\Omega m$ )

ส่วนกลับของสภาพต้านทานเรียกว่า สภาพนำ ( $\sigma$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็น (โอห์ม เมตร)<sup>-1</sup> หรือ ซีเมนส์ต่อเมตร

### แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (E) เป็นพลังงานไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้ต่อหนึ่งหน่วยประจุ ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$$E = IR + Ir$$

R เป็นความต้านทานภายนอก

r เป็นความต้านทานภายในเซลล์

I เป็นกระแสไฟฟ้า

IR คือความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ (V)

$$\text{ดังนั้น} \quad V = E - Ir$$

ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์

## บทที่ 14

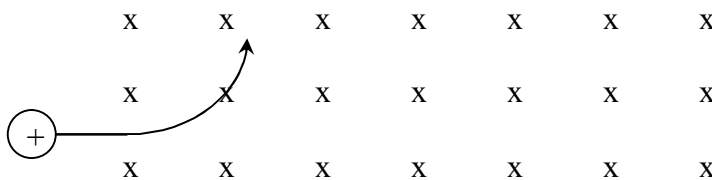
### แม่เหล็กไฟฟ้า

#### แรงในสนามแม่เหล็ก

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า  $q$  เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก  $B$  จะเกิดแรง  $F$  เนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคนี้ตามสมการ

$$F = qvB$$

ถ้า  $q$  มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)  $v$  เป็นเมตรต่อวินาที (m/s)  $B$  เป็นเทสลา (T) หน่วยของ  $F$  จะเป็นนิวตัน ทิศทางของแรง  $F$  หาได้จากการกำนั้วทั้งสี่ของมือขวา ในทิศการหมุนจาก A ไปยัง B ผ่านมุม 90 องศา นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของแรง  $F$



ในรูปข้างต้น สนามแม่เหล็กมีทิศเข้าไปในหน้ากระดาษ ประจุบวกเคลื่อนที่ไปทางขวา แรงที่กระทำต่อประจุบวกมีทิศขึ้นข้างบนดังรูป

ทิศดังกล่าว เป็นทิศของแรงที่กระทำต่อประจุบวก ถ้ามีประจุลบเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ทิศของแรงที่กระทำต่อประจุลบ จะมีทิศตรงข้ามกับทิศของแรงที่กระทำต่อประจุบวก

ทิศของความเร็วและทิศของแรง อยู่ในระนาบของกระดาษคือแกน  $x$  และแกน  $y$  ส่วนทิศของสนามแม่เหล็ก ซึ่งอยู่ในแนวแกน  $z$  จะมีทิศพุ่งออกจากกระดาษ หรือพุ่งเข้าสู่กระดาษใช้สัญลักษณ์ จุด ( $\bullet$ ) และกากบาท ( $\times$ ) ตามลำดับ สังเกตลูกดอกที่ใช้ปาเป้า ถ้าพุ่งออกมาจะเห็นส่วนหัวเป็นจุด ถ้าพุ่งเข้าไปจะเห็นส่วนหางเป็นกากบาท

ถ้าลวดตัวนำยาว  $L$  มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน  $I$  ถูกวางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก  $B$  จะมีแรงกระทำต่อลวดตัวนำตามสมการ

$$F = ILB$$

ทิศของแรงหาได้จากการกำนั้วทั้งสี่ของมือขวา ในทิศการหมุนจาก  $I$  ไปยัง  $B$  นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของแรง  $F$

## หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับเพิ่ม หรือลดความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิพันบนแกนเหล็กเดียวกัน กระแสสลับในขดลวดหนึ่งทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าเปลี่ยนแปลงผ่านแกน การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์นี้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอีกขดหนึ่ง ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานจะได้

$$\text{กำลังในขดลวดปฐมภูมิ} = \text{กำลังในขดลวดทุติยภูมิ}$$

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์

V คือ ความต่างศักย์ หน่วยเป็น โวลต์

I คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็นแอมแปร์

นอกจากนี้ พบว่าความต่างศักย์ จำนวนรอบของขดลวด และกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันคือ

1 อัตราส่วนความต่างศักย์ไฟฟ้า V มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวด N

2 อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า I มีค่าเป็นส่วนกลับของอัตราส่วนของจำนวนรอบของ

ขดลวด N

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

## ฟลักซ์แม่เหล็ก

ฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้ ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กมีค่า  $\phi$  ผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้ A ในทิศตั้งฉากกับพื้นที่ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B จะเท่ากับ จำนวนฟลักซ์แม่เหล็ก  $\phi$  ต่อพื้นที่ A

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

$\phi$  มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb)

B มีหน่วยเป็น เทสลา (T)

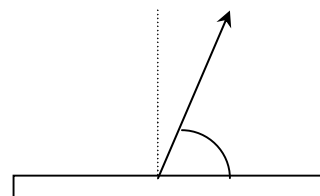
A มีหน่วยเป็น ตารางเมตร ( $m^2$ )

ถ้าฟลักซ์แม่เหล็ก ไม่ตั้งฉากกับพื้นที่ที่ฟลักซ์แม่เหล็กผ่าน หาฟลักซ์แม่เหล็กได้จาก

$$\phi = BA \sin \theta$$

$\theta$  เป็นมุมระหว่างสนามแม่เหล็ก

กับระนาบของพื้นที่



## บทที่ 15

### ไฟฟ้ากระแสสลับ

#### ลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ

เมื่อต่อตัวต้านทานเข้ากับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วตรวจดูรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคป พบว่ากราฟของความต่างศักย์กับเวลาเป็นกราฟรูป sine แสดงว่า ความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$V = V_m \sin \omega t$$

เมื่อ  $V$  เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เวลาใดๆ

$V_m$  เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด

$\omega$  เป็นความถี่เชิงมุม

นอกจากความต่างศักย์ไฟฟ้าแล้ว เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าได้

เช่นกัน คือ  $I = I_m \sin \omega t$

ในการวัดความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์เรียกว่า ค่ายังผล หรือเรียกว่า ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย ( $V_{rms}$ ) โดยมีความสัมพันธ์กับค่าสูงสุด ( $V_m$ ) คือ

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

นอกจากนี้ ยังสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย ( $I_{rms}$ ) โดยมีความสัมพันธ์กับค่าสูงสุด ( $I_m$ ) คือ

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

#### ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

ในการทดลองต่อตัวเก็บประจุ  $C$  กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้ พบว่า เมื่อความถี่สูงขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าจะมากขึ้น แสดงว่าตัวเก็บประจุมีสมบัติอย่างหนึ่ง ที่ขึ้นกับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ สมบัตินี้เรียกว่า รีแอกแตนซ์เชิงความจุ  $X_c$  หรือความต้านเชิงความจุ

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \qquad X_c = \frac{1}{\omega C}$$

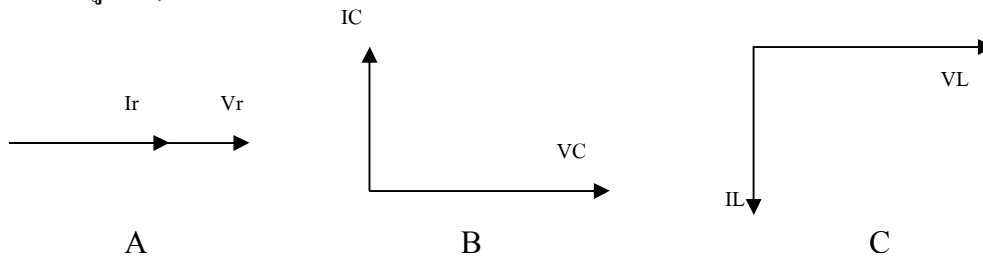
ในการทดลองต่อตัวเหนี่ยวนำ  $L$  กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้ พบว่า เมื่อความถี่สูงขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลง แสดงว่าตัวเหนี่ยวนำมีสมบัติอย่างหนึ่ง ที่ขึ้นกับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ สมบัตินี้เรียกว่า รีแอกแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำ  $X_L$  หรือความต้านเชิงเหนี่ยวนำ

$$X_L = 2\pi f L \qquad X_L = \omega L$$

## การเขียนแผนภาพเฟเซอร์

แผนภาพเฟเซอร์ (Phasor Diagram) เป็นวิธีการที่ช่วยในการรวมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการเขียนลูกศร แทนความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าแล้วหาผลลัพธ์โดยวิธีเวกเตอร์

เฟสของความต่างศักย์และกระแส ของวงจรตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ แสดงได้ดังรูป A, B และ C ตามลำดับ



## การต่อวงจร R L C แบบอนุกรม

การเขียนแผนภาพเฟเซอร์มีหลักดังนี้

1 กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R L C เท่ากัน

2 ความต่างศักย์รวมหาได้จากผลบวกแบบเวกเตอร์ของ  $V_R$ ,  $V_L$  และ  $V_C$

## ความต้านทานเชิงซ้อน

ความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance) คือ ความต้านทานรวมในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้สัญลักษณ์  $Z$  มีหน่วยเป็น โอห์ม

$$Z = \frac{V}{I}$$

$V$  เป็นค่าความต่างศักย์รวมในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

$I$  เป็นกระแสรวมในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ความต้านทานเชิงซ้อนของวงจร RLC ที่ต่ออนุกรมกัน หาได้จาก

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

## กำลังไฟฟ้า

ถ้ามีความต่างศักย์กระแสสลับ  $V$  คร่อม ความต้านทานเชิงซ้อนชนิดใดๆ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า  $I$  ไหลผ่านความต้านทานเชิงซ้อนนั้น และมุมเฟสระหว่าง  $V$  และ  $I$  คือ  $\theta$  กำลังที่สูญเสียไปในความต้านทานเชิงซ้อนหาได้จาก

$$P_{av} = VI \cos \theta$$

ปริมาณ  $\cos \theta$  เรียกว่า ตัวประกอบกำลัง

## บทที่ 16

### คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

#### การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ไฟฟ้ากระแสสลับทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงและสนามไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง ผลจากการเปลี่ยนแปลงของสนามทั้งสองที่กลับไปกลับมา ทำให้เกิดคลื่นแผ่ออกไปเรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แมกซ์เวลล์ทำนายว่า มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำต่อเนื่องของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า และเฮิร์ตซ์ได้ทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวคิดของแมกซ์เวลล์มีจริง

#### ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีลักษณะดังนี้

- 1 สนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (B) มีค่าสูงสุดและต่ำสุดพร้อมกัน คือมีเฟสตรงกัน
- 2 สนามไฟฟ้า (E) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (B) เสมอ
- 3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปในทิศ C โดยที่ทิศของ C คือ ทิศของ  $\vec{E} \times \vec{B}$
- 4 ในรูปด้านล่าง E อยู่ในแนวแกน y, B อยู่ในแนวแกน z และ C อยู่ในแนวแกน x
- 5 ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า  $C = 3 \times 10^8$  m/s
- 6 ความสัมพันธ์ระหว่างๆ ความเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ

$$C = f\lambda$$

ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หากได้จากการกำนั้วทั้งสี่ของมือขวาในทิศการหมุน จาก E ผ่านมุม  $90^\circ$  ไปยัง B นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของความเร็วในการเคลื่อนที่

#### 16.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่างๆ นี้ว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 คลื่นวิทยุ               | มีความถี่ในช่วง $10^4 - 10^9$ Hz       |
| 2 คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ | มีความถี่ในช่วง $10^8 - 10^{12}$ Hz    |
| 3 รังสีอินฟราเรด           | มีความถี่ในช่วง $10^{11} - 10^{14}$ Hz |
| 4 แสง                      | มีความถี่ประมาณ $10^{14}$              |
| 5 รังสีอัลตราไวโอเล็ต      | มีความถี่ในช่วง $10^{15} - 10^{18}$ Hz |
| 6 รังสีเอ็กซ์              | มีความถี่ในช่วง $10^{16} - 10^{22}$ Hz |
| 7 รังสีแกมมา               | มีความถี่ในช่วง $10^{18} - 10^{22}$ Hz |

## บทที่ 17

### สมบัติเชิงกลของสาร

#### ความดันในของเหลว

ถ้าให้  $m$  เป็นมวลของสารซึ่งมีปริมาตร  $V$  และ  $\rho$  เป็นความหนาแน่นของสาร จะได้

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

ความหนาแน่นเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ความดันในของเหลว คือ ขนาดของแรงในของเหลวที่กระทำให้ทิศตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผนังภาชนะ ถ้าให้  $F$  เป็นแรงที่ของเหลวกระทำตั้งฉากบนพื้นที่  $A$  และ  $P$  เป็นความดันบนพื้นที่  $A$  จะได้

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

ความดันในของเหลวแปรผันตรงกับความลึก และความหนาแน่นของของเหลว เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P = \rho gh$$

เมื่อ  $h$  คือความลึกของของเหลว ความดันในของเหลวชนิดหนึ่งๆ ขึ้นกับความลึกเท่านั้น ไม่ขึ้นกับรูปร่างภาชนะที่บรรจุ

#### สรุปหลักการสำคัญเกี่ยวกับความดันในของเหลวในสภาวะอยู่นิ่ง

- 1 ณ จุดใดๆ ในของเหลว จะมีแรงกระทำของของเหลวออกไปทุกทิศทาง
- 2 แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะหรือผิววัตถุ ที่อยู่ในของเหลว จะอยู่ในทิศตั้งฉากกับผนังภาชนะ หรือผิวของวัตถุที่ของเหลวสัมผัส
- 3 ความดัน ณ จุดใดๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งแปรผันตรงกับความลึกและความหนาแน่นของของเหลวเมื่ออุณหภูมิคงตัว
- 4 ความดันในของเหลวชนิดหนึ่งๆ ไม่ขึ้นกับปริมาตร และรูปร่างภาชนะที่บรรจุของเหลว และที่ความลึกเท่ากันความดันจะเท่ากันเสมอ
- 5 ในของเหลวที่อยู่นิ่ง ณ จุดใดๆ ที่อยู่ในระดับความลึกเดียวกัน จะมีความดันเท่ากันเสมอ

ความดันที่กล่าวถึง เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว เรียกว่า ความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ในของเหลวจะต้องรวมความดันบรรยากาศเข้าไปด้วยดังนี้

$$P = P_a + \rho gh$$

P ความดันสัมบูรณ์ในของเหลว

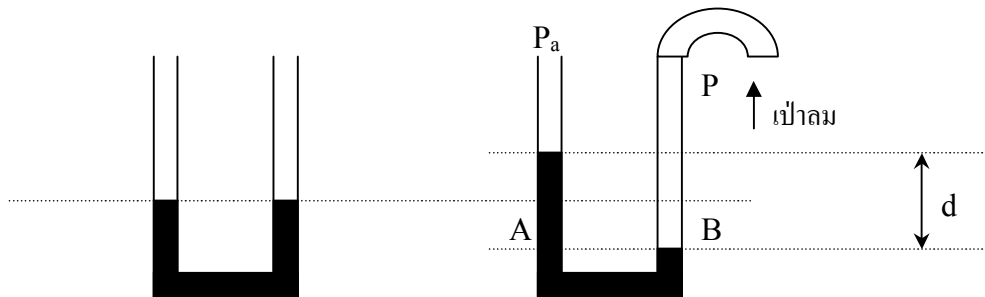
$P_a$  ความดันของบรรยากาศ

$\rho gh$  ความดันเกจ

ความดันในของเหลวที่ควรศึกษา มีดังนี้

1 หลอดแก้วรูปตัวยู

แมนอมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความดันของไหล ประกอบด้วยหลอดแก้วรูปตัวยู มีสเกลบอกระดับของเหลว ปลายข้างหนึ่งของหลอดแก้วต่อกับสายยางวัดความดัน



ก่อนใช้งานระดับของเหลวทั้งสองข้างเท่ากัน และตรงกับขีด 0 นิ้วดัน/ตารางเมตร เมื่อเป่าลมเข้าทางปลายสายยาง ระดับของเหลวในขาทั้งสองข้างจะต่างกัน

จุด A และ B ของของเหลวเดียวกันจะมีความดันเท่ากัน

$$\text{ความดันที่ A} = \text{ความดันที่ B}$$

$$P_A + P_w = P$$

เมื่อ  $P_a$  เป็นความดันบรรยากาศ

$P_w$  เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว (ความดันเกจ)

P เป็นความดันสัมบูรณ์

ถ้าให้ d คือผลต่างของระดับของเหลวทั้งสองข้าง หากความดันเกจได้จาก

$$P - P_a = P_w = \rho g d$$

## 2 แรงที่น้ำกระทำต่อเขื่อน

ถ้าเขื่อนมีความยาว  $L$  และระดับน้ำในเขื่อนสูง  $H$  สามารถหาแรงที่กระทำต่อเขื่อนได้ดังนี้  
ความดันเฉลี่ยในของเหลว =  $\frac{1}{2}$ (ความดันที่จุดสูงสุด + ความดันที่จุดต่ำสุด)  
=  $\frac{1}{2}(0 + \rho gH)$

จาก  $F = PA$  จะได้

$$F = \frac{1}{2}(0 + \rho gH)(LH)$$

$$F = \frac{1}{2}\rho gLH^2$$

ถ้าน้ำไม่เต็มเขื่อน  $H$  ในสมการนี้ คือ ความสูงของระดับน้ำไม่ใช่ความสูงของเขื่อน

## 3 กฎของพาสคัล

กฎของพาสคัล กล่าวว่า “เมื่อเพิ่มความดัน ณ ตำแหน่งใดๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มขึ้นจะถ่ายทอดไปทุกๆจุดในของเหลวนั้น”

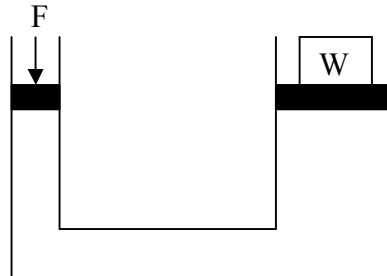
$$\frac{F}{a} = \frac{W}{A}$$

$W$  = น้ำหนักที่ต้องการยก

$a$  = พื้นที่ลูกสูบเล็ก

$A$  = พื้นที่ลูกสูบใหญ่

$F$  = แรงกดบนลูกสูบเล็ก



## 4 แรงลอยตัว

หลักของอาคิมิดีส กล่าวว่า “วัตถุใดๆที่จมอยู่ในของไหลทั้งก้อน หรือจมอยู่เพียงบางส่วน จะถูกแรงลอยตัวกระทำ และขนาดของแรงลอยตัวนั้นจะเท่ากับขนาดของน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุแทนที่”

จากหลักของอาคิมิดีส เขียนได้ว่า

ขนาดของแรงลอยตัว = ขนาดของน้ำหนักของไหลที่ถูกวัตถุแทนที่

= ขนาดของน้ำหนักของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วน

ที่จม

$$B = mg$$

$$B = \rho Vg$$

## สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

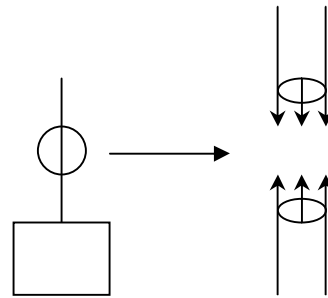
สมบัติของวัสดุที่ทำให้วัตถุมีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีแรงกระทำ และสามารถคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อแรงที่มากระทำหมดไป เรียกว่า สภาพยืดหยุ่น

ส่วนกรณีที่วัตถุเปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร โดยผิววัตถุไม่มีการฉีกขาด หรือแตกหัก เรียกสมบัติดังกล่าวนี้ว่า สภาพพลาสติก

เส้นลวดที่ถูกแรงดึงจากน้ำหนักวัตถุที่นำมาแขวน จะมีแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของลวด อัตราส่วนระหว่างแรงในแนวตั้งฉาก  $F$  กับพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  เรียกว่า ความเค้นตามยาว

$$\text{ความเค้น (Stress)} \quad \delta = \frac{F}{A}$$

ความเค้นเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร หรือ พาสคัล



เมื่อมีแรงกระทำต่อลวด ทำให้ลวดยืดออก อัตราส่วนระหว่างความยาวส่วนที่ยืด  $\Delta L$  กับความยาวเดิม  $L_0$  เรียกว่า ความเครียดตามความยาว

$$\text{ความเครียด (Strain)} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดตามยาวเรียกว่า โมดูลัสของยัง  $Y$

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}}$$

## บทที่ 18

### ความร้อน สมบัติของแก๊ส และทฤษฎีจลน์

กฎของบอยล์ กล่าวว่า “สำหรับแก๊สปริมาณหนึ่งที่อุณหภูมิคงตัว ความดันของแก๊ส (P) แปรผกผันกับปริมาตร (V)”

$$P \propto \frac{1}{V} \quad \text{หรือ} \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

กฎของชาร์ล กล่าวว่า “สำหรับแก๊สปริมาณหนึ่งที่ความดันคงตัว ปริมาตรของแก๊ส (V) แปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T)”

$$V \propto T \quad \text{หรือ} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

ดังนั้น ถ้าแก๊สปริมาณหนึ่งมีความดันปริมาตรและอุณหภูมิเป็น  $P_1, V_1$  และ  $T_1$  ถูกทำให้ความดัน ปริมาตรและอุณหภูมิเปลี่ยนเป็น  $P_2, V_2$  และ  $T_2$  ตามลำดับ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

ถ้าแก๊สมีจำนวนโมล (n) หรือ จำนวนโมเลกุล (N) หรือมวล (m) เปลี่ยนไปจากเดิม สมการจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} \quad \text{หรือ} \quad \frac{P_1V_1}{N_1T_1} = \frac{P_2V_2}{N_2T_2} \quad \text{หรือ} \quad \frac{P_1V_1}{m_1T_1} = \frac{P_2V_2}{m_2T_2}$$

แก๊สที่ความดัน P ปริมาตร V มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ T ดังสมการ

$$PV = nRT = Nk_B T$$

เมื่อ n เป็นจำนวน โมล N เป็นจำนวน โมเลกุล

R คือค่าคงตัวแก๊ส = 8.314 J/mole K

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

อัตราส่วนของ R และ  $k_B$  เรียกว่า เลขอาโวกาโดร ( $N_0$ ) ซึ่งเป็นจำนวนโมเลกุลใน 1 โมล

$$N_0 = \frac{R}{k_B} = 6.02 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$$

#### พลังงานภายในระบบ

พลังงานของโมเลกุลของแก๊สในภาชนะที่พิจารณา เรียกว่า พลังงานภายในระบบ

พลังงานความร้อน ( $\Delta Q$ ) ทั้งหมดที่ให้กับระบบมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานภายในระบบ ( $\Delta U$ ) ที่เพิ่มขึ้น กับงานที่ทำ ( $\Delta W$ ) โดยระบบ

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

ถ้าไม่มีการถ่ายโอนความร้อนเข้าหรือออกจากระบบ  $\Delta Q = 0$  จะได้  $0 = \Delta U + \Delta W$

นั่นคือ  $+\Delta U = -\Delta W$  หรือ  $-\Delta U = +\Delta W$

$+cU$  หมายถึง พลังงานภายในระบบที่เพิ่มขึ้น

$-\Delta U$  หมายถึง พลังงานภายในระบบที่ลดลง

$+\Delta W$  หมายถึง งานที่ทำโดยระบบ

$-\Delta W$  หมายถึง งานที่ให้กับระบบ

พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลแก๊สจะขึ้นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊สเพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นกับชนิดของแก๊ส ความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์เฉลี่ยและอุณหภูมิสัมบูรณ์ คือ

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} k_B T$$

ถ้า  $U$  เป็นพลังงานภายในระบบที่ประกอบด้วยแก๊ส  $N$  โมเลกุล จะได้  $U = N\bar{E}_k$

$$U = \frac{3}{2} N k_B T$$

จากสมการข้างต้น สรุปได้ว่า พลังงานภายในระบบแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลและอุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊ส

### ความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ ( $c$ ) ของสาร คือปริมาณความร้อน ( $\Delta Q$ ) ที่ทำให้สารมวล  $m$  มี

อุณหภูมิเปลี่ยนไป  $\Delta T$  ดังนั้น  $c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$

$$\Delta Q = mc\Delta T$$

ความร้อนแฝงจำเพาะ ( $L$ ) ของสาร คือ ปริมาณความร้อน ( $\Delta Q$ ) ที่ทำให้สารมวล  $m$  เปลี่ยน

สถานะไปหมดทั้งก้อน โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น  $L = \frac{\Delta Q}{m}$

$$\Delta Q = mL$$

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปมาจากพลังงานอื่นๆ จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของพลังงานเดิม

## บทที่ 19

### ฟิสิกส์อะตอม

#### ทฤษฎีอะตอมของโบร์

โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนขึ้นมา พร้อมทั้งเสนอสมมติฐาน 2 ข้อ คือ

1 อิเล็กตรอนวิ่งวนเป็นวงกลมรอบนิวเคลียส โดยมีวงโคจรบางวงที่อิเล็กตรอนไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในวงโคจรดังกล่าว อิเล็กตรอนจะวิ่งวนโดยมีโมเมนตัมเชิงมุม  $L$  คงตัวและมีค่าเป็น

จำนวนเท่าของค่าคงตัวมูลฐานค่าหนึ่งคือ  $\bar{h}$  ซึ่ง  $\bar{h} = \frac{h}{2\pi}$

สำหรับอิเล็กตรอนมวล  $m$  ซึ่งวิ่งวนรอบนิวเคลียสรัศมี  $r$  โดยมีอัตราเร็วเชิงเส้น  $v$  สมมติฐานข้อนี้เขียนได้เป็น

$$L = mvr = n\bar{h}$$

$n$  คือ เลขจำนวนเต็มบวก คือ 1,2,3..... ในที่นี้เรียกว่า เลขควอนตัม

2 อิเล็กตรอนจะรับหรือปล่อยพลังงานออกมา เมื่อมีการเปลี่ยนวงโคจร ตามข้อ 1 พลังงานนี้อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างสมการ

$$\Delta E = E_i - E_f$$

เมื่อ  $\Delta E$  คือ พลังงานที่อิเล็กตรอนรับหรือปล่อยออกมา

$E_i$  คือ พลังงานที่อิเล็กตรอนในวงโคจรก่อนการเปลี่ยนแปลง

$E_f$  คือ พลังงานที่อิเล็กตรอนในวงโคจรหลังการเปลี่ยนแปลง

$\Delta E$  เป็นบวก หมายถึง อิเล็กตรอนปล่อยพลังงานออกมา

$\Delta E$  เป็นลบ หมายถึง อิเล็กตรอนรับพลังงานเข้าไป

ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับเข้าหรือปล่อยออกนี้ หาได้จากสมการ

$$hf = |\Delta E| = |E_i - E_f|$$

สามารถหาความยาวคลื่นเป็นนาโนเมตร โดยใช้พลังงานเป็นหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ได้จาก

สมการ

$$\lambda_{(nm)} = \frac{1240}{E(eV)}$$

พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่างๆหาได้จากสมการ

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n^2}\right)$$

$E_n$  = พลังงานในหน่วยจูล

$m$  =  $9.1 \times 10^{-31}$  kg

$k$  =  $9.0 \times 10^9$  Nm<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>

$e$  =  $1.6 \times 10^{-19}$  C

$h$  =  $1.05 \times 10^{-34}$  Js

$n$  = 1,2,3.....

เมื่อแทนค่า  $n = 1$  จะได้  $E_1 = -21.76 \times 10^{-19}$  จูล ซึ่งเป็นระดับพลังงานวงในสุด เรียกว่า สถานะพื้น ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้น คือ  $n = 2$  ขึ้นไป เรียกว่า สถานะถูกกระตุ้น สามารถหาระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนได้จาก

$$E_2 = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{2^2} = -5.3 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_3 = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{3^2} = -2.42 \times 10^{-19}$$

....

$$E_\infty = 0$$

โบร์ ได้อธิบายการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนว่า สเปกตรัมเส้นสว่างเกิดจากอิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่ามายังวงโคจรที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า และมีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ริดเบิร์ก ได้ค้นพบสมการซึ่งสามารถหาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างี้ดังกล่าวได้ เรียกว่า สมการของริดเบิร์ก คือ

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

$$R_H = \text{ค่าคงตัวริดเบิร์ก} = 1.0974 \times 10^7 \text{ ต่อเมตร}$$

### ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

ผลจากการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ดังนี้

1 โฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดจากโลหะ เมื่อแสงที่ตกกระทบบมีความถี่อย่างน้อยเท่ากับความถี่ขีดเริ่ม และโฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นทันทีที่แสงตกกระทบบผิวของโลหะ

2 จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าแสงมีความเข้มมากขึ้น

3 พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนไม่ขึ้นกับความเข้มแสง แต่จะขึ้นกับความถี่ของแสง

ไอส์ไตน์อธิบายว่า แสงเป็นก้อนพลังงาน เรียกว่า โฟตอน แสงที่มีความถี่  $f$  แต่ละโฟตอนจะมีพลังงาน  $hf$  โดย 1 โฟตอนจะถ่ายโอนพลังงานไปจำนวนหนึ่งเท่ากับพลังงานที่โลหะยึดอิเล็กตรอนไว้ พลังงานนี้เรียกว่า ฟังก์ชันงาน (work function,  $W$ ) ซึ่งจะต่างกันตามชนิดของโลหะนั้นๆ พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน เป็นไปตามสมการ

$$E_{k(\max)} = hf - W$$

ในวงจรวัดพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน เมื่อเพิ่มความต่างศักย์จนกระทั่งไม่มีกระแสอิเล็กตรอนในวงจร กรณีนี้พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะเท่ากับผลต่างของพลังงานศักย์พอดี ความต่างศักย์นี้เรียกว่า ความต่างศักย์หยุดยั้ง

$$hf - W = eV_s$$

ถ้าโฟตอนที่มากระทบผิวโลหะ มีพลังงานน้อยกว่า  $W$  จะไม่มีโฟโตอิเล็กตรอน แต่ถ้าโฟตอนมีพลังงานเท่ากับ  $W$  จะมีอิเล็กตรอนหลุดจากโลหะ โดยไม่มีพลังงานจลน์ หรือ  $E_k$  สูงสุดเป็น 0  $f_0$  เป็นความถี่ต่ำสุดที่ทำให้เริ่มเกิดโฟโตอิเล็กตรอนเรียกว่า ความถี่ขีดเริ่ม จะได้

$$0 = hf_0 - W \quad W = hf_0$$

ในกรณีที่แสงมีความถี่ขีดมากกว่าความถี่ขีดเริ่ม

1 ถ้าเพิ่มความเข้มแสง ทำให้จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนมากขึ้นด้วย

2 ถ้าเพิ่มความถี่ของแสง ทำให้พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นด้วย

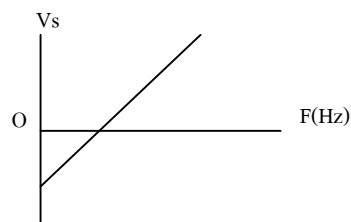
สมการ 
$$V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \frac{W}{e}$$

จะเห็นว่า ถ้าเขียนกราฟระหว่าง  $V_s$  กับ  $f$  ดังรูป

จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ  $\frac{h}{e}$  และ

ระยะตัดแกนตั้งเท่ากับ  $-\frac{W}{e}$  จากกราฟนี้

หา  $h$  และ  $W$  ได้



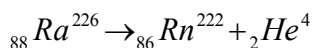
## บทที่ 20

### ฟิสิกส์นิวเคลียร์

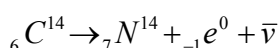
#### การสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสี

เมื่อธาตุกัมมันตรังสีปล่อยอนุภาคแอลฟา หรือ บีตา ออกมาจากนิวเคลียส พบว่ามีธาตุใหม่เกิดขึ้น การสลายตัวของนิวเคลียสสอดคล้องกับกฎอนุรักษ์นิวคลีออน และกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า กล่าวคือ

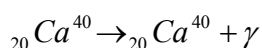
ในการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา นิวเคลียสใหม่มีเลขมวลลดลง 4 และเลขอะตอมลดลง 2



ในการสลายตัวให้อนุภาคบีตา นิวเคลียสใหม่มีเลขมวลคงเดิม และเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1



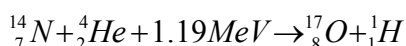
ในการสลายตัวให้อนุภาคแกมมา นิวเคลียสไม่เปลี่ยนแปลง



#### ปฏิกิริยานิวเคลียร์

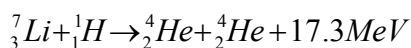
ปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นกระบวนการที่นิวเคลียสเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหรือ ระดับพลังงาน เกิดจากการยิงนิวเคลียสด้วยนิวคลีออน หรือ อนุภาค แล้วทำให้มีนิวคลีออนเพิ่มเข้าไปในนิวเคลียส หรือออกไปจากนิวเคลียส เช่น นิวเคลียส X เมื่อถูกยิงด้วยอนุภาค a แล้วทำให้เกิดนิวเคลียสของธาตุใหม่ Y พร้อมกันปล่อยอนุภาค b ออกไป

1 ปฏิกิริยาดูดพลังงาน มวลรวมหลังปฏิกิริยามากกว่ามวลรวมก่อนปฏิกิริยา ผลรวมของพลังงานยึดเหนี่ยวก่อนปฏิกิริยา มีค่ามากกว่าผลรวมของพลังงานยึดเหนี่ยวหลังปฏิกิริยา เช่น



พลังงาน 1.19 MeV คือผลต่างระหว่างพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟาและโปรตอน

2 ปฏิกิริยาปล่อยพลังงาน มวลรวมหลังปฏิกิริยาน้อยกว่ามวลรวมก่อนปฏิกิริยา ผลรวมของพลังงานยึดเหนี่ยวหลังปฏิกิริยา มีค่ามากกว่าผลรวมของพลังงานยึดเหนี่ยวก่อนปฏิกิริยา เช่น



พลังงาน 17.3 MeV คือ ผลต่างระหว่างพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟาและโปรตอนในปฏิกิริยาข้างบนนี้สอดคล้องกับกฎอนุรักษ์นิวคลีออน และกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

20.3 ครึ่งชีวิตและอัตราการสลายตัว

ครึ่งชีวิต  $\left(\frac{T_1}{2}\right)$  หมายถึง ระยะเวลาที่ทำให้ครึ่งหนึ่งของธาตุกัมมันตรังสีเปลี่ยนแปลงเป็น  
ธาตุอื่น

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

$\lambda$  คือ ค่าคงที่การสลายตัว

$t$  เป็นเวลาใดๆ

$n$  เป็นจำนวนช่วงครึ่งชีวิต

$T_{\frac{1}{2}}$  เป็นเวลาครึ่งชีวิต

ถ้าให้

$N$  เป็นนิวเคลียสเริ่มต้น       $N_0$  เป็นนิวเคลียสที่เวลา  $t$  ใดๆ

$A$  เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้น       $A_0$  เป็นกัมมันตภาพที่เวลา  $t$  ใดๆ

$m$  เป็นมวลเริ่มต้น       $m_0$  เป็นมวลที่เวลา  $t$  ใดๆ

จะได้

$$N = \frac{N_0}{2^n} \qquad A = \frac{A_0}{2^n} \qquad m = \frac{m_0}{2^n} \qquad \text{และ} \qquad A = \lambda N$$

เมื่อ  $A$  คือ กัมมันตภาพ,  $\lambda$  คือ ค่าคงตัวการสลาย และ  $N$  คือจำนวนนิวเคลียส

## การสอบสัมภาษณ์

เมื่อน้องๆได้ผ่านการสอบข้อเขียนมาแล้ว ขั้นตอนต่อไป ทางมหาวิทยาลัยจะจัดให้มีการสอบสัมภาษณ์ ซึ่งการสอบสัมภาษณ์นี้ ผู้สัมภาษณ์ไม่ได้เข้มงวดอะไรมากนัก เพียงแต่ต้องการพูดคุย ดูบุคลิกภาพของน้องๆเท่านั้น การสัมภาษณ์ไม่ได้มีการคัดคนออก (หากน้องๆไม่มีสภาพจิตใจที่ผิดปกติ) ดังนั้นพี่จึงอยากให้น้องตอบคำถามอย่างสบายๆ ไม่ต้องเครียด หรือเกร็งจนเกินไป ซึ่งคำถามส่วนใหญ่จะเป็นคำถามง่ายๆ ดังนี้

1. ชื่ออะไร ? (หรืออาจจะให้น้องๆ แนะนำตัวเอง)
2. มาจากโรงเรียนอะไร ?
3. พ่อ/แม่ทำงานอะไร ?
4. ทำไมถึงอยากเรียนคณะนี้ ?
5. บางทีอาจจะถามเหตุการณ์ปัจจุบันทั่วไป

จะเห็นว่า คำถามข้างต้นเหล่านี้ เป็นคำถามง่ายๆ แต่สิ่งที่สำคัญคือ การตอบคำถาม ต้องตอบให้ตรงคำถาม ใช้น้ำเสียงนุ่มนวล ไม่กระด้างกระเดื่อง

สุดท้ายนี้ ขอให้น้องๆโชคดีกับการสอบเข้ามหาวิทยาลัย ได้ผ่านเข้าไปในรั้วมหาวิทยาลัยที่ตนเองต้องการทุกๆคนครับ

ณัฐพงศ์ อรุณเซนทร์ (พี่เป้)  
ผู้จัดทำ