ENGINEER

ตรง ประเด็น

สรุปเนื้อหาเข้มข้น ฟิสิกส์-คณิต-เคมี
เขียนแบบวิศวกรรม เก็งข้อสอบแม่นยำ
รองรับสนามสอบ PAT3

กวดวิชาพี่ส่าย
“ทางเลือกของคนฉลาดเรียน”

พื้นฐานทางวิศวกรรม
ส่วนที่ 1 เนื้อหาฟิสิกส์

สารบัญ

บทเรียน	หน้า
1. บทนำฟิสิกส์	1
2. การเคลื่อนที่เส้นตรง	5
3. มวล แรง กฎนิวตัน	7
4. สมดุลกล	9
5. สภาพยืดหยุ่น	12
6. งาน กำลังงาน พลังงาน	13
7. โมเมนตัม และ การชน	14
8. โปรเจ็คไทล์	16
9. การเคลื่อนที่แบบวงกลม	17
10. ซิมเปิ้ลฮามอร์นิก	19
11. การกลิ้ง	20
12. ปรากฏการณ์คลื่น	22
13. เสียงและการได้ยิน	24
14. แสงและการมองเห็น	26
15. ของเหลวของไหล	29
16. ความร้อน	32
17. แก๊สและทฤษฎีจลน์	34
18. กฎข้อที่ 1 เทอร์โมไดนามิกส์	36
19. ไฟฟ้าสถิต	37
20. ไฟฟ้ากระแสตรง	42
21. แม่เหล็กไฟฟ้า	46
22. ไฟฟ้ากระแสสลับ	49
23. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	51
24. ฟิสิกส์อะตอม	54
25. ฟิสิกส์นิวเคลียร์	57

####### สีแดง คือ จำเป็น #######

1. บทนำฟิสิกส์

1. ปริมาณฐาน อนุพันธ์ เสริม

❶ ปริมาณฐาน คือ ปริมาณพื้นฐานที่จำเป็นต่อการอธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ มี 7 ตัว คือ

	ปริมาณ		หน่วย	
	ชื่อ	ตัวย่อ	ชื่อ	ตัวย่อ
1	ความยาว	L,S	เมตร	m
2	เวลา	t	วินาที	s
3	มวล	m	กิโลกรัม	kg
4	กระแสไฟฟ้า	I	แอมแปร์	A
5	อุณหภูมิสัมบูรณ์	T	เคลวิน	K
6	ความเข้มการส่องสว่าง	I	คาเดลา	cd
7	ปริมาณสาร	n	โมล	mol

❷ ปริมาณอนุพันธ์ คือ ปริมาณที่เกิดขึ้นจากการนำปริมาณฐานมาประกอบกันโดยการคูณ หรือ หาร เช่น อัตราเร็ว(v) = S/t

❸ ปริมาณเสริม ใช้สำหรับวัดมุม มี 2 ตัว คือ เรเดียน(rad) และ สเตอเรเดียน(Sr)

2. คำอุปสรรค และ การเปลี่ยนหน่วย

❶ คำอุปสรรค เป็นสิ่งที่ถูกสมมุติขึ้นมาเพื่อใช้แทนการเรียก 10^n (เมื่อ n คือ จำนวนเต็ม) เพื่อให้การจดบันทึก และการนำเสนอข้อมูลให้กระทัดรัด

	10^n	ชื่อ (ตัวย่อ)		10^n	ชื่อ (ตัวย่อ)
1	10^1	Deca-(da)	11	10^{-1}	Deci-(d)
2	10^2	Hecto-(h)	12	10^{-2}	Centi-(c)
3	10^3	Kilo-(k)	13	10^{-3}	Milli-(m)
4	10^6	Mega-(M)	14	10^{-6}	Micro-(μ)
5	10^9	Giga-(G)	15	10^{-9}	Nano-(n)
6	10^{12}	Tera-(T)	16	10^{-12}	Pico-(p)
7	10^{15}	Peta-(P)	17	10^{-15}	Femto-(f)
8	10^{18}	Exa-(E)	18	10^{-18}	Atto-(a)
9	10^{21}	Zeta-(Z)	19	10^{-21}	Zepto-(z)
10	10^{24}	Yotta-(Y)	20	10^{-24}	Yocto-(y)

❷ การเปลี่ยนหน่วยเวลา

1 hr = 60 min 1 min = 60 sec 1 hr = 3600 sec

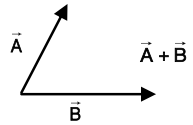
❸ การเปลี่ยนหน่วยพื้นที่ → ต้องยกกำลังสอง

❹ การเปลี่ยนหน่วยปริมาตร → ต้องยกกำลังสาม

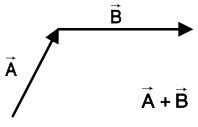
3. เวคเตอร์

❶ การบวกเวคเตอร์(ใช้หาเวคเตอร์ลัพธ์)

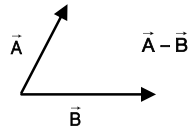
แบบหางชนหาง

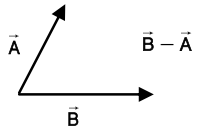


แบบหัวชนหาง



❷ การลบเวคเตอร์ (หางชนหาง)





4. เลขนัยสำคัญ

❶ หลักการนับเลขนัยสำคัญ

นับตัวเลขทุกตัวที่ไม่ใช่ศูนย์ ไม่นับ ศูนย์กลุ่มหน้าสุด และ ไม่นับ 10^n

เช่น 12.35 มีเลขนัยสำคัญทั้งหมด = 4 ตัว

1001.0030 มีเลขนัยสำคัญทั้งหมด = 8 ตัว

0.0012300 มีเลขนัยสำคัญทั้งหมด = ___ ตัว

32.0×10^{-6} มีเลขนัยสำคัญทั้งหมด = 3 ตัว

❷ การบวก,ลบ ตามหลักเลขนัยสำคัญ

จำนวนทศนิยมของผลลัพธ์ต้องเท่ากับจำนวนทศนิยมที่น้อยที่สุดของตัวเลขที่นำมาคำนวณ

เช่น 519.7 + 628.4917 − 690.2209 − 413.2 = 44.7208

แต่คำตอบที่ถูกต้อง คือ 44.7

❸ การคูณ,หาร ตามหลักเลขนัยสำคัญ

จำนวนทศนิยมของผลลัพธ์ต้องเท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญทั้งหมดที่น้อยที่สุดของตัวเลขที่นำคำนวณ

เช่น $\dfrac{15.00 \times 12.0}{5.000} = 36.000$ แต่คำตอบที่ถูกต้อง คือ 36.0

5. เครื่องมือวัด ความละเอียด และการบันทึกผล

❶ ไม้บรรทัด ความละเอียด = 1 มม. บันทึก = 0.1 มม.

❷ เวอร์เนีย ความละเอียด = บันทึก = 0.1 มม.

❸ ไมโครมิเตอร์ ความละเอียด = บันทึก = 0.01 มม.

จงระบุว่าผลการวัดต่อไปนี้น่าจะเกิดจากเครื่องมือชนิดใด

1) 12.23 เซนติเมตร → 0.01 ซม = 0.1 มม → ไม้บรรทัด , เวอร์เนีย

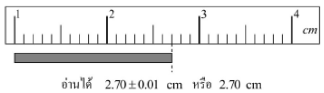
2) 5.725 เซนติเมตร → 0.001 ซม = 0.01 มม → ไมโครมิเตอร์

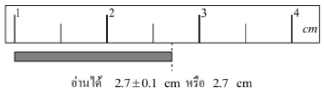
3) 1.12 มิลลิเมตร → 0.01 มม → ไมโครมิเตอร์

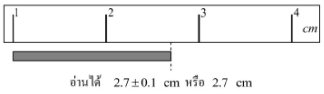
4) 3.5 มิลลิเมตร → 0.1 มม → ไม้บรรทัด , เวอร์เนีย

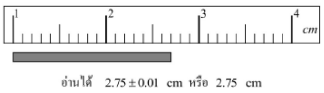
6. การถ่ายทอดความคลาดเคลื่อน

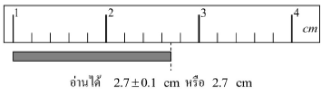
❶ สังเกต การบันทึกข้อมูลต่อไปนี้











❷ หลักการถ่ายทอดความคลาดเคลื่อน

แบบที่ 1 $ax \pm by = \square \pm (a\Delta x + b\Delta y)$ (โจทย์ : $\pm\Delta x$, $\pm\Delta y$; เสมอ ; เสมอ)

แบบที่ 2 $\frac{x^a y^b}{z^c} = \square \pm \square\left(a\frac{\Delta x}{x} + b\frac{\Delta y}{y} + c\frac{\Delta z}{z}\right)$ (โจทย์ ; เสมอ ; เสมอ ; เสมอ)

ตย.1 ระยะทางจากจุด A และ B ถูกทำการวัดเป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงแรก = 5.25 ± 0.05 กิโลเมตร

ช่วงหลัง = 15.2 ± 0.1 กิโลเมตร

จงหาระยะทางรวมทั้งหมด

ตย.2 กำหนด A = 1.00 ± 0.02 , B = 2.00 ± 0.2

จงหาค่าของ $A^2 \times B^3$ และ $A^{1/2} \times B^2$

7. วิธีเรียนฟิสิกส์แบบชิวๆ

หลักคือ : แม่นยำเรื่อง สูตร กับหน่วย ก็ทำโจทย์ได้แล้ว

สมมุติว่าน้องไปเรียนมาว่า F คือ แรง หน่วย N (นิวตัน)

m คือ มวล หน่วย kg (กิโลกรัม)

a คือ ความเร่ง หน่วย m/s^2 (เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง)

และสูตร $F = m\,a$

Example 1 : How much force is needed to accelerate a 100 kg at 10 m/s^2

Example 2 : A force of 270 N is applied to an object that accelerates at 5 m/s^2. What is the mass of the object ?

1. 25 kg
2. 25 N
3. 54 kg
4. 54 N

8. การสร้างสูตรอัตราส่วนจากสูตรพื้นฐาน

❶ ตัวแปรอยู่ฝั่งเดียวกัน : หารกัน → ผันตรงกัน คูณกัน → ผกผันกัน

❷ ตัวแปรอยู่คนละฝั่งกัน : วางตรงกัน บน-บน หรือ ล่าง-ล่าง → ผันตรงกัน

วางสลับ บน-ล่าง หรือ ล่าง-บน → ผกผันกัน

ตย.1 $R = \frac{\rho L}{A}$ สนใจ R,L -->

ตย.2 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ สนใจ E_k,v -->

ตย.3 $v = f\lambda$ สนใจ f,λ -->

ตย.4 $E = \frac{kQq}{r^2}$ สนใจ E,Q , r -->

ตย.5 หากกำหนดให้ v คือ อัตราเร็ว หน่วย m/s
f คือ ความถี่ หน่วย Hz
λ คือ ความยาวคลื่น หน่วย m
และ $v = f\lambda$
แล้ว xxxxxxxx 10 m/s xxxxxxxx 5 m xxxxx 2 m xxxx ___ m/s

9. การเขียนกราฟจากสูตร

❶ ผันตรง : $y \propto x$ เส้นตรง , $y \propto x^2$ พาราหงาย , $y^2 \propto x$ พาราคว่ำ
❷ ผกผัน : กราฟไฮเปอร์มุมฉาก

ตย.1 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
1) กราฟ $E_k - v^2$ 2) กราฟ $E_k - v$

3) กราฟ $m - v^2$ 2) กราฟ $m - v$

10. การแปรความหมายพื้นที่ใต้กราฟและความชัน

❶ $x \cdot y$ = พื้นที่ใต้กราฟ ❷ y / x = ความชันกราฟ

ตย.1 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
1) กราฟ $E_k - v^2$ 2) กราฟ $m - v^2$

11. เทคนิคการสร้างสูตรจากหน่วย

ตย.1 แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในปริมาตร 3 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน 2×10^5 พาสคาล ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จงหามวลของแก๊สนี้ในหน่วยกิโลกรัม หากกำหนดให้ค่าคงที่ของแก๊สนี้มีค่าเท่ากับ 80 จูล/(เคลวิน.กิโลกรัม)
และกำหนดให้ หน่วย จูล = พาสคาล.ลูกบาศก์เมตร

12. เทคนิคการชิวตัวเลขข้อสอบตัวเลือก

กฎการชิวตัวเลข คือ
✌ ตัวเลขทั้งหมดต้องอยู่ในลักษณะ คูณ หรือ หาร กันเท่านั้น
✌ แต่ละตัวเลือก ต้องมีเลขหลักใหญ่(ซ้ายสุด 2 ตัวแรกแตกต่างกัน)

มาดูตัวอย่างกันนะครับ

ตย.1 $\frac{25.32 \times 1.91 \times 10^{-2}}{0.0509} = ?$
1. 9.5
2. 4.3
3. 12.5
4. 23.8

ตย.2 $\frac{0.9 \times 0.0201}{0.0025 \times 0.5} = ?$
1. 36.75
2. 25.22
3. 14.47
4. 10.47

ตย.3 $\sqrt{\frac{360 \times 48 \times 0.24}{0.125 \times 0.2}} = ?$
1. 993.7
2. 723.5
3. 645.8
4. 407.3

ตย.4 $\sqrt{\frac{360 \times 480 \times 0.024}{0.0125 \times 0.2}} = ?$
1. 2536
2. 1288
3. 4250
4. 1845

2. การเคลื่อนที่เส้นตรง

1. ความรู้พื้นฐานของการเคลื่อนที่

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ระยะทาง	S	$m^{เมตร}$
2	การกระจัด	$\vec{S}$	$m^{เมตร}$

❶ **ระยะทาง** คือ ความยาวตามเส้นทางการเคลื่อนที่ เป็นปริมาณสเกลาร์

❷ **การกระจัด** คือ เส้นตรงที่ต้องแสดงทิศทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย เป็นปริมาณเวคเตอร์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วเฉลี่ย	v_{av}	$m/s^{เมตร/วินาที}$
2	ความเร็วเฉลี่ย	$\vec{v}_{av}$	$m/s^{เมตร/วินาที}$
3	เวลา	t	Sec , $s^{วินาที}$

❶ **อัตราเร็วเฉลี่ย** คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง เป็น ป.สเกลาร์

❷ **ความเร็วเฉลี่ย** คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของการกระจัด เป็น ป.เวคเตอร์

$$v_{av} = \frac{S}{t} \qquad \vec{v}_{av} = \frac{\vec{S}}{t}$$

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความเร็วต้น	$\vec{u}$	m/s
2	ความเร็วปลาย	$\vec{v}$	m/s
3	อัตราเร่ง	a	m/s^2
4	ความเร่ง	$\vec{a}$	m/s^2

❶ **อัตราเร่ง** คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็ว เป็นปริมาณสเกลาร์

❷ **ความเร่ง** คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว เป็นปริมาณเวคเตอร์

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

Keyword :

1. เริ่มเคลื่อนที่ → $\vec{u} = 0$
2. หยุด → $\vec{v} = 0$
3. ความเร็วเพิ่มขึ้น → มี ความเร่ง
4. ความเร็วลดลง → มี ความหน่วง

2. สูตรคำนวณการเคลื่อนที่ S u v a t

Check ตัวแปรที่โจทย์กำหนด และ ที่โจทย์ถาม ... แล้วดูว่าตัวแปรใดที่โจทย์ไม่บอก หรือ ถาม ก็ให้เลือกใช้สูตรที่ไม่ปรากฏตัวแปรนั้นในโจทย์

สูตรไม่มี S $\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$

สูตรไม่มี u $\vec{S} = \vec{v}t - \frac{1}{2}\vec{a}t^2$

สูตรไม่มี v $\vec{S} = \vec{u}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$

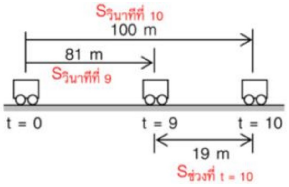
สูตรไม่มี a $\vec{S} = \left(\frac{\vec{u} + \vec{v}}{2}\right)t$

สูตรไม่มี t $\vec{v}^2 = \vec{u}^2 + 2\vec{a}\vec{S}$

3. การกระจัดช่วงวินาทีที่ n

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	การกระจัดช่วงวินาทีที่ n	$\vec{S}_{ช่วง\ n}$	m
2	การกระจัด ณ. วินาทีที่ n	$\vec{S}_t$	m
3	การกระจัด ณ. วินาทีที่ n – 1	$\vec{S}_{t-1}$	m

เช่น



$$\vec{S}_{ช่วง\ n} = \vec{S}_n - \vec{S}_{n-1}$$

4. การเคลื่อนที่แนวดิ่ง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความเร่งของสนามโน้มถ่วง	$\vec{g}$	m/s^2

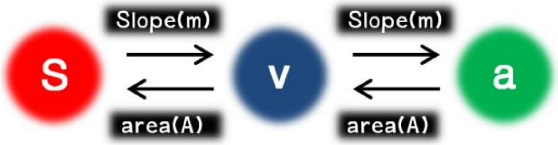
❶ หลัก : ใช้หลักการเดียวกับ S u v a t แค่เปลี่ยน a เป็น g

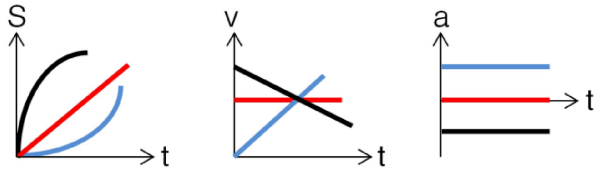
❷ Keyword :

1. ปล่อย → $\vec{u} = 0$, $\vec{g} = 10$
2. โยนขึ้น → $\vec{g} = -10$
3. สูงสุด → $\vec{v} = 0$
4. ตกกลับที่เดิม → $\vec{S} = 0$

❸ การกำหนดทิศทาง " $\vec{u}$ มีทิศเป็น + เสมอ ใครสวนทางกับ $\vec{u}$ ให้เป็น – "

5. กราฟการเคลื่อนที่





$S = \Sigma h_{สมฉ}$
$\vec{S} = \vec{S}_2 - \vec{S}_1$
$\vec{v}$ = slope

$S = \Sigma A$
$\vec{S} = \Sigma A^{\pm}$
$\vec{a}$ = slope

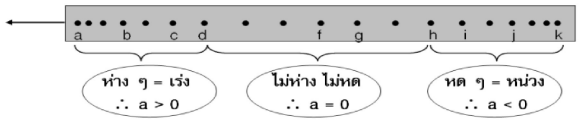
$\vec{v} = \vec{u} + \Sigma A^{\pm}$

$v_{av} = \frac{S}{t}$ $\vec{v}_{av} = \frac{\vec{S}}{t}$

6. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

❶ หัวใจสำคัญ คือ จุดบนแถบกระดาษแทนการกระจัดของวัตถุ

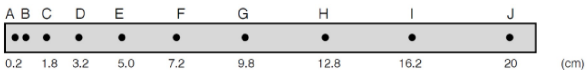
❷ จุดบนแถบกระดาษจะมี 3 ลักษณะที่ข้อสอบจะออกกัน คือ



*** แต่ละจุดใช้เวลาต่างกันเท่ากับ 1 / 50 วินาที ***

❸ สูตรคำนวณอาศัยความรู้พื้นฐาน คือ

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{S}_{\text{ระหว่างช่วงจุด}}}{t_{\text{ระหว่างช่วงจุด}}} \qquad \vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{t_{\text{ระหว่างช่วงจุด}}}$$



ตัวอย่าง : จากแถบกระดาษที่กำหนดให้ แล้วข้อใดต่อไปนี้ คือ ความเร่งของจุด G

1. 1.0 m/s^2 2. 1.7 m/s^2 3. 17.5 m/s^2 4. 1.0 cm/s^2

7. การเคลื่อนที่ของวัตถุสองก้อนในแนวราบ

หลักการที่สำคัญ คือ

❶ สร้าง สมการการกระจัด ของวัตถุทั้งสอง ด้วยตัวแปรเวลาเดียวกัน

❷ วัตถุใดเคลื่อนที่ก่อน หรือ เคลื่อนที่ช้ากว่า ต้องใช้เวลามากกว่า แต่ถ้าเคลื่อนที่พร้อมกันก็ใช้เวลาเท่ากัน

❸ นำสมการจากข้อ ❶ มาหาความสัมพันธ์ร่วมกันตามข้อเท็จจริง

ตัวอย่าง : รถยนต์ A เคลื่อนที่บนถนนตรงด้วยความเร็วคงที่ 12.5 เมตรต่อวินาที ผ่านรถยนต์ B ซึ่งจอดอยู่อีก 10 วินาทีต่อมา รถยนต์ B ก็เริ่มเคลื่อนที่ตามรถยนต์ A ด้วยความเร่งคงที่ 5 เมตรต่อวินาที^{2} ในทิศทางเดียวกันรถยนต์ทั้งสองจะทันกันเมื่อรถยนต์ B อยู่ห่างจากจุดเริ่มต้นเป็นระยะกี่เมตร

8. การเคลื่อนที่ของวัตถุสองก้อนในแนวดิ่ง

ใช้หลักการเดียวกับหัวข้อที่ 7 แค่เปลี่ยนจาก a เป็น g

ตัวอย่าง : นาย ก. ยืนอยู่ริมหน้าผาสูง 100 เมตร ขณะที่ นาย ข. ยืนที่ก้นเหวด้านล่าง หาก นาย ก. ปล่อยก้อนหินลงมา พร้อมกับที่ นาย ข. โยนก้อนหินขึ้นไปด้วยอัตราเร็ว 20 เมตร/วินาที จงหาว่านานเท่าไหร่ก้อนหินทั้งสองจึงจะกระทบกันและก้อนหินจะกระทบที่ความสูงจากก้นเหวด้านล่างกี่เมตร

9. แนวโจทย์บอลลูน

คิดเหมือนการเคลื่อนที่แนวดิ่ง แต่ต้องหาความเร็วต้นที่แท้จริงของวัตถุด้วยหลักการความเร็วสัมพัทธ์ คือ $\vec{u} = \vec{v}_{\text{วัตถุ}} - \vec{v}_{\text{บอลลูน}}$

ตัวอย่าง : ปล่อยบัลลูนขึ้นไปด้วยความเร่งคงที่ 2 เมตร/วินาที^{2} ขึ้นไปได้ 20 วินาที บัลลูนก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตลอด หลังจากปล่อยบัลลูนขึ้นไปนาน 40 วินาที มีวัตถุหลุดจากบัลลูน นานเท่าใดวัตถุจึงจะตกถึงพื้นหลังจากหลุดจากบัลลูน

10. การเคลื่อนที่หลายช่วง

หลัก : เขียนกราฟ v – t

ตัวอย่าง : รถคันหนึ่งเริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 2 เมตร/วินาที^{2} จากจุด A จากนั้นจึงลดความเร็วลงในอัตรา 1 เมตร/วินาที^{2} เพื่อจอดที่จุด B หากระยะห่างระหว่าง A และ B เท่ากับ 300 เมตร จงหาความเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่และเวลาที่ใช้เคลื่อนที่จาก A ไป B

3. มวล แรง กฎนิวตัน

1. มวล ความเฉื่อย น้ำหนัก

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวล	m	kg
2	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	$\vec{g}$ =10	m/s^2
3	น้ำหนัก	$\vec{W}$	N

❶ **มวล** → สเกลาร์ → ไม่เปลี่ยนแปลงตาม $\vec{g}$

❷ **น้ำหนัก** → เวคเตอร์ → เปลี่ยนตาม $\vec{g}$ โดย $\vec{W} = m\vec{g}$

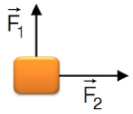
2. แรงและแรงลัพธ์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงภายนอก(ทิศตามการกระทำ)	$\vec{F}$	N
2	แรงดึงเชือก(ทิศดึง)	$\vec{T}$	N
3	แรงปฏิกิริยาตั้งฉาก	$\vec{R}, \vec{N}$	N
4	แรงเสียดทาน(ต้านการเคลื่อนที่)	$\vec{f}$	N
5	น้ำหนัก,แรงโน้มถ่วง(ทิศลงล่าง)	$\vec{W}$	N
6	แรงลัพธ์(ทิศเดียวกับความเร่ง)	$\sum\vec{F}$	N

❶ การหาแรงลัพธ์

$\Sigma F = F_1 + F_2$

$\Sigma F = F_1 - F_2$

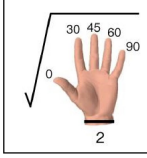


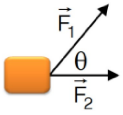
$\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

ชุดพีธากอรัส ที่ออกบ่อย

3	4	5	9	40	41
5	12	13	11	60	61
7	24	25	12	35	37
8	15	17	a	a	$\sqrt{2}a$

ค่าของ cos = root(นิ้วด้ำขวา) / 2





$\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$

3. กฎข้อ 1 , กฎข้อ 2 และกฎข้อ 3 ของนิวตัน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความเร่ง	$\vec{a}$	m/s^2

กฎข้อ 1 ของนิวตัน	กฎข้อ 2 ของนิวตัน
• เนื่องจาก $\Sigma F = 0$	• เนื่องจาก $\Sigma F \neq 0$
• ทำให้วัตถุมี **ความเร็วคงที่**	• ทำให้วัตถุมี **ความเร็วไม่คงที่**
• หรือ **ไม่มีความเร่ง** ($a = 0$)	• หรือ **มีความเร่ง** ($a \neq 0$)
• สูตร $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$	• สูตร $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$

กฎข้อ 3 ของนิวตัน

ทุกแรงกิริยา(Action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา(Reaction) ที่มี ขนาดเท่ากัน และกระทำใน ทิศตรงกันข้าม เสมอ โดยแรงทั้งสอง กระทำต่อวัตถุคนละก้อนกัน

เช่น

Action คือ มือดัน**ผนัง** ... F_{act} = 100 N →

Reaction คือ ผนังดัน**มือ** ... F_{react} = 100 N ←

ขนาดของ $F_{act} = F_{react}$ แต่ มีทิศทางตรงกันข้าม

4. ลิงไต่เชือก

มีหลักการทำโจทย์มีดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดทิศความเร่งตามโจทย์กำหนด
และ เขียนแรง *แรงดึงเชือก(T) ทิศขึ้น*
แรงโน้มถ่วง(mg) ทิศลง

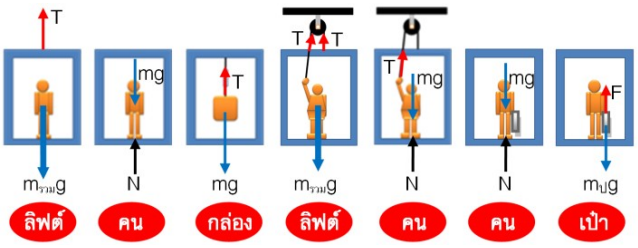
ขั้นที่ 2 ใช้สูตร กฎข้อ 2 คือ $\Sigma F = ma$ แยกได้ 2 กรณี คือ

- ไต่ขึ้น $T - mg = ma$
- ไต่ลง $mg - T = ma$

*** แรงเสียดทานที่มือลิง(f) ก็คือ แรงดึงเชือก(T) นั่นเอง ***

5. ลิฟต์

❶ เขียนแรงกระทำต่อวัตถุ



หมายเหตุ : เราอาจจะเรียก N และ T ว่า "นน.ที่ตาชั่งอ่านได้" ก็ได้นะครับ

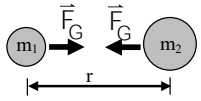
❷ ใช้สูตร กฎข้อ 2 คือ $\Sigma F = ma$ แยกได้ 2 กรณี คือ

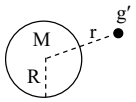
- ลิฟต์ขึ้น : แรงขึ้น − แรงลง = ma
- ลิฟต์ลง : แรงลง − แรงขึ้น = ma

ตัวอย่าง : จากรูปที่ 5 หากลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 5 m/s^2 นาย ก ซึ่งมีมวล 50 กิโลกรัม ต้องออกแรงดึงเชือกกี่นิวตัน เพื่อให้ตาชั่งที่พื้นอ่านค่าได้ 45 กิโลกรัม

6. แรงดึงดูดระหว่างมวล

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงดึงดูดระหว่างมวล	F_G	N
2	ค่านิจโน้มถ่วงสากล	G	$N.m^2/kg^2$
3	มวลก้อนที่ 1 และ 2	m_1 , m_2	kg
4	ระยะห่าง	r	m
5	ความเร่งที่ตำแหน่งใดๆ	g'	m/s^2
6	ความเร่งที่ผิวดวงดาว	g	m/s^2
7	รัศมีของดวงดาว	R	m





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

$$g' = \frac{G\,M}{r^2}$$

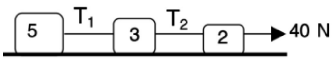
$$g = \frac{G\,M}{R^2}$$

7. ระบบมวล

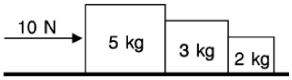
❶ หลักการทั่วไป มวลทุกก้อนต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่ากัน

❷ เทคนิคผ้าคลุมวิเศษ

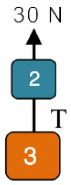
ตัวอย่างที่ 1 : จงหาความเร่งและแรงตึงเชือกทั้งสอง



ตัวอย่างที่ 2 : จงหาความเร่งและแรงปฏิกิริยาระหว่างมวลแต่ละก้อน

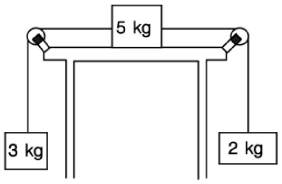


ตัวอย่างที่ 3 : จากรูป จงหาว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศทางใด ด้วยความเร่งเท่าใด และหาขนาดของแรงตึงเชือก T



8. ระบบมวลถ่วงน้ำหนัก

ตัวอย่างที่ 1 : จงหาความเร่งและแรงตึงเชือกทั้งสอง



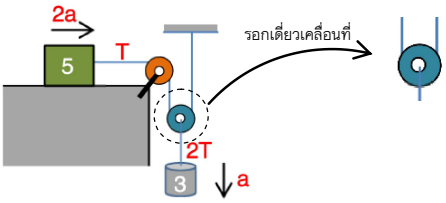
หาความเร่ง a โดยการคิดทั้งระบบ

ขั้นที่ 1 : กำหนดทิศความเร่ง(a) ให้ทุกก้อน

ขั้นที่ 2 : หาแรงลัพธ์โดยไม่ต้องคิดแรงกระทำระหว่างวัตถุ

ขั้นที่ 3 : หาความเร่งจากสูตร $\Sigma \vec{F} = m\,\vec{a}$

9. รอกเดี่ยวเคลื่อนที่



4. สมดุลกล

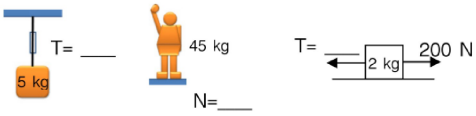
1. สมดุลแรง

❶ สมดุลของแรง สอดคล้องกับ กฎข้อ 1 ของนิวตัน
หมายถึง ไม่มีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ หรือ $\Sigma F = 0$

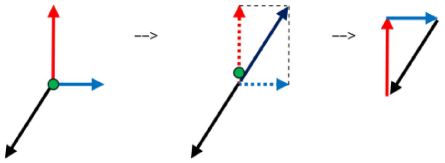
❷ ขณะ "วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลของแรง" จะเป็นจริงดังนี้ ...

- วัตถุต้อง ไม่มีความเร่ง (หรือ a = 0 เสมอ)
- วัตถุจะ หยุดนิ่ง หรือ มีความเร็วคงที่ เสมอ
- แรงลัพธ์เป็นศูนย์ $\Sigma F = 0$ $\leftarrow F = F \rightarrow$ $\uparrow F = F \downarrow$

2. สมดุล 2 แรง , 3 แรง และ หลายแรง

❶ สมดุล 2 แรง 

แรงทั้งสองจะสมดุลกันเมื่อ 1) แรงทั้งสองต้องมี ขนาดเท่ากัน
2) แรงทั้งสองมี ทิศทางตรงกันข้าม

❷ สมดุล 3 แรง 

แรงทั้งสามจะสมดุลกันเมื่อ 1) ต้องอยู่บน ระนาบเดียวกัน
2) ผลรวมเวคเตอร์ของแรงคู่ใดๆ = แรงที่เหลือ
ในแง่เวคเตอร์ แรงทั้ง 3 ต้องเชื่อมต่อกันแบบหัวชนหางได้สามเหลี่ยมปิดพอดี

❸ แรงหลายแรงสมดุลกันเมื่อ นำมาต่อแบบหัวชนหางได้รูปปิดหลายเหลี่ยมพอดี

3. การทำโจทย์สมดุลด้วยวิธีแตกแรง

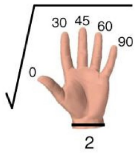
วิธีแตกแรงเป็นวิธีที่พื้นฐานใช้แก้ปัญหากับโจทย์ทุกรูปแบบ มีขั้นตอนง่ายๆ คือ

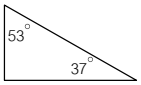
❶ เขียนแรงกระทำต่อวัตถุ ในเบื้องต้น คือ F , T , f , mg , N

❷ เลือกแกนมุมฉาก(x,y) ที่เหมาะสม แล้วแตกแรงจากข้อ ❶ เข้าแกน x และ y
*** หลักการแตกแรง **ใกล้มุม ใช้ cosθ** **ไกลมุม ใช้ sin θ** ***

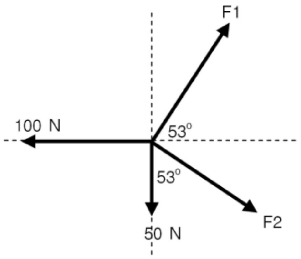
❸ ใช้สูตร สมดุลแนวราบ สมดุลแนวดิ่ง
$\leftarrow F = F \rightarrow$ $\uparrow F = F \downarrow$

*** ค่าตรีโกณที่ต้องทราบของมุม 30° , 45° , 60° ***



*** 37° , 53° *** 

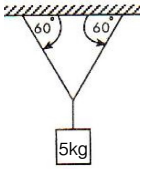
ตัวอย่าง หากแรงทั้งหมดอยู่ในสภาพสมดุล จงหาขนาดของแรง F_1 , F_2



4. สมดุลของแรง 3 แรง

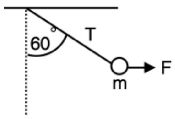
❶ สำหรับโจทย์ที่ปรากฏ แรงคู่สมมาตร
หลัก แตกแรงคู่สมมาตร เท่ากับ แรงตัวที่เหลือ

ตัวอย่างที่ 1 จงหาขนาดของแรงดึงเชือกทั้งสอง

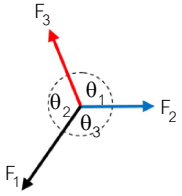


❷ สำหรับโจทย์ที่ปรากฏ แรงคู่ฉาก
หลัก แตกแรงที่เหลือ = แรงคู่ฉาก

ตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้ m = 4 kg จงหาขนาดแรง T และ F

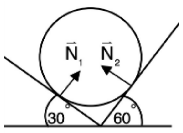


❸ สำหรับโจทย์ที่ไม่ปรากฏทั้ง แรงคู่สมมาตร และ แรงคู่ฉาก
หลัก อัตราส่วนแรงต่อไซน์มุมตรงข้าม มีค่าคงที่



$$\frac{F_1}{\sin\theta_1} = \frac{F_2}{\sin\theta_2} = \frac{F_2}{\sin\theta_3}$$

ตัวอย่างที่ 3 จากรูป จงหาแรงปฏิกิริยา N_1 และ N_2



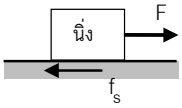
5. แรงเสียดทาน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงเสียดทานสถิต	f_s	N
2	แรงเสียดทานจลน์	f_k	N
3	สปส.ความเสียดทานสถิต	μ_s	-
4	สปส.ความเสียดทานจลน์	$\mu_k < \mu_s$	-
5	มุมของพื้นเอียง	θ	องศา
6	ความเร่ง	a	m/s^2
7	แรงเสียดทานสถิตสูงสุด	$f_{s,max}$	N
8	แรงปฏิกิริยาตั้งฉาก	N	N
9	แรงกระทำ	F	N

ขณะวัตถุถูกแรงกระทำ พฤติกรรมของวัตถุจะเป็นไปดังนี้

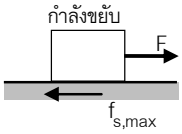
❶ ถ้า ไม่เคลื่อนที่ จะมีแรงเสียดทานสถิต(f_s) มีทิศสวนทางกับแรงพยายามที่จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่

$$f_s = F$$



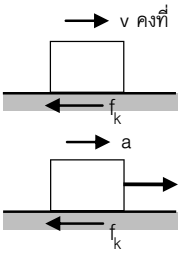
❷ ถ้า กำลังจะเคลื่อนที่ จะมีแรงเสียดทานสถิตสูงสุด(ชั่วขณะ) มีทิศสวนทางกับแรงพยายามที่จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่

$$f_{s,max} = F = \mu_s N$$



❸ ทันทีที่วัตถุ เคลื่อนที่ จะมีแรงเสียดทานจลน์(f_k) ในทิศสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุ

$$f_k = \mu_k N$$



6. กฎนิวตันกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ

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

❷ ถ้าไม่มีความเร่ง(หรือความเร็วคงที่) $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$

$\leftarrow F = F \rightarrow$

$\uparrow F = F \downarrow$

❸ วิธีการตัดสินเลือกกฎของนิวตัน และสูตรที่ต้องใช้

→ นิ่ง , เริ่มเคลื่อนที่ , ความเร็วคงที่ แสดงว่า a = 0 → กฎข้อ 1

→ ความเร็วไม่คงที่ แสดงว่า มีความเร่ง → กฎข้อ 2

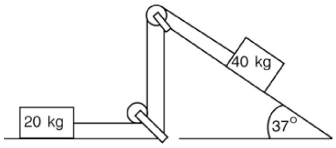
❹ วิธีเลือกใช้แรงเสียดทาน

→ นิ่ง ใช้ f_s , เริ่มเคลื่อนที่ ใช้ $f_{s,max}$, เคลื่อนที่ ใช้ f_k

ตัวอย่าง นาย ก. สามารถกระทำแรงต่อเชือกที่ผูกติดกับกระดานเลื่อนได้สูงสุด 500 N เชือกทำมุม 30° กับแนวระดับ ถ้าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์ระหว่างพื้นกับกระดานเลื่อนเป็น 0.25 จงหามวลมากที่สุดของกระดานเลื่อนที่นาย ก. สามารถลากไปด้วยอัตราเร็วคงที่

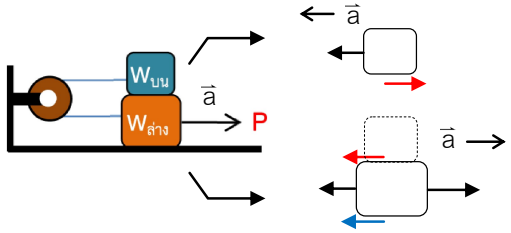
7. สมดุลของระบบมวล

ตัวอย่าง จากรูป พื้นเอียงและพื้นราบมีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเท่ากับ μ ปรากฏว่ามวล 40 กิโลกรัม เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียงด้วยอัตราเร็วคงที่ จงหาค่า μ



8. ระบบมวลซ้อน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	น้ำหนักก้อนบน	$W_{บน}$	N
2	น้ำหนักก้อนล่าง	$W_{ล่าง}$	N
3	สปส.ความเสียดทาน	μ	-
4	ความเร่ง	a	m/s^2
5	แรงดึง	P	N



9. โมเมนต์

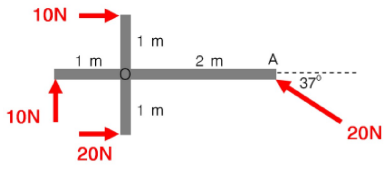
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงกระทำ	F	N
2	ระยะแขนโมเมนต์	r	m
3	โมเมนต์รอบจุด A	M_A	N.m

❶ $M_A = F \times r$

*** แรงใดผ่านจุดหมุนไม่ต้องนำมาคิดโมเมนต์

*** F และ r ต้องตั้งฉากกันเสมอ

ตัวอย่าง จงหาโมเมนต์ลัพธ์รอบจุด A



10. สมดุลการหมุน

❶ สมดุลการหมุน เรียกอีกอย่างว่า สมดุลโมเมนต์

❷ สมดุลการหมุน เกิดขึ้นเมื่อ

→ โมเมนต์ลัพธ์มีค่าเท่ากับศูนย์

→ ผลรวมทางคณิตศาสตร์ของโมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์

$\Sigma \vec{M} = \vec{0}$ หรือ $M_{ทวน} = M_{ตาม}$

❸ เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลการหมุน พบว่า

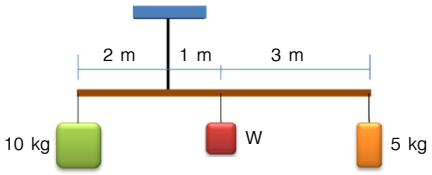
→ วัตถุอาจจะอยู่นิ่ง ก็ได้ หรือ

→ วัตถุ กำลังเริ่มหมุน หรือ เริ่มล้ม ก็ได้ หรือ

→ วัตถุ หมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงที่ ก็ได้

11. คานแขวน คานกระดก

ตัวอย่างที่ 1 จงหาขนาดของ W ที่ทำให้คานอยู่ในแนวระดับ



ตัวอย่างที่ 2 ชายคนหนึ่งถือแผ่นไม้ขนาดสม่ำเสมอยาว 1.5 เมตร น้ำหนัก 80 นิวตัน ให้สมดุลตามแนวระดับ โดยมือข้างหนึ่งยกแผ่นไม้ขึ้นที่ตำแหน่ง 50 เซนติเมตร จากปลายใกล้ตัวและมืออีกข้างหนึ่งกดแผ่นไม้ลงที่ปลายเดียวกันนั้น ดังรูป จงคำนวณหาแรงกดและแรงยกจากมือทั้งสองตามลำดับที่ทำให้แผ่นไม้อยู่นิ่งได้

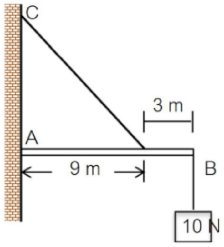
12. บันไดพิงกำแพง

ตัวอย่าง บันไดขนาดสม่ำเสมอมีน้ำหนัก W วางพาดกำแพงเกลี้ยง ซึ่งไม่คิดแรงเสียดทาน ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นล่างกับบันได เท่ากับ μ จงหามุม θ น้อยที่สุดที่ทำให้บันไดวางอยู่นิ่งได้

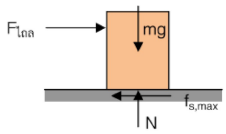
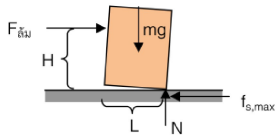
13. คานยื่น

ตัวอย่าง ลวดเส้นหนึ่งดึงคาน AB ซึ่งมีน้ำหนัก 10 นิวตัน แขวนที่ปลาย ถ้าคานสม่ำเสมอหนัก 50 นิวตัน ยาว 12 เมตร มีปลาย A เป็นบานพับตรึงติดกับกำแพง คานสมดุลอยู่ได้ดังรูป จงหา

1) แรงตึงในเส้นเชือก
2) แรงปฏิกิริยาแนวดิ่งที่บานพับ
3) แรงปฏิกิริยาแนวราบที่บานพับ
4) แรงปฏิกิริยาที่บานพับ



14. การไถล การล้ม

การไถล	การล้ม
	
หลัก : สมดุลแนวราบ	หลัก : สมดุลโมเมนต์ที่มุมกล่อง

ตัวอย่าง ทรงกระบอกสูง 20 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. หนัก 100 นิวตัน ตั้งอยู่บนพื้นราบที่มีค่าของสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน 0.2 ถ้าออกแรง 20 นิวตัน ขนานกับพื้นราบที่ตำแหน่งสูงสุด ทรงกระบอกจะเป็นอย่างไร

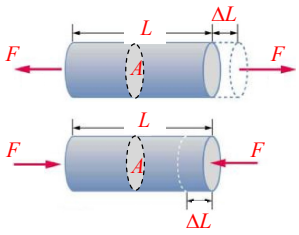
1. เริ่มไถล
2. กำลังจะล้ม
3. ล้มไปแล้ว
4. เริ่มไถลโดยไม่ล้ม

5. สภาพยืดหยุ่น

1. ความเค้น , ความเครียด , ยังโมดูลัส

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงภายในวัสดุ	F	N นิวตัน
2	พื้นที่หน้าตัด	A	m^2 ตร.ม
3	ความเค้น	σ	N/m^2
4	ความยาวที่เปลี่ยนไป	ΔL	m เมตร
5	ความยาวเริ่มต้น	L	m เมตร
6	ความเครียด	ε	-
7	ยังโมดูลัส	$E(Y)$	N/m^2

❶



$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \qquad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F\,L}{A\,\Delta L}$$

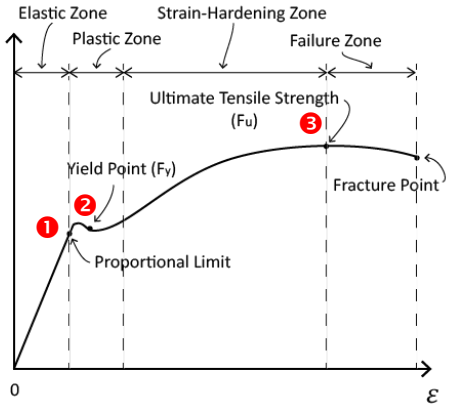
ตัวอย่างที่ 1 ลวดทองแดงเส้นหนึ่งยาว 4 เมตร มีพื้นที่ภาคตัดขวาง 1×10^{-8} ตารางเมตร มีค่ามอดูลัสของยังเป็น 1.2×10^{11} นิวตัน / ตารางเมตร จะต้องออกแรงดึงเท่าใด จึงจะทำให้ลวดเส้นนี้ยืดออกอีก 1 มิลลิเมตร

1. 0.2 N
2. 0.3 N
3. 0.4 N
4. 0.5 N

ตัวอย่างที่ 2 แท่งโลหะอันหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และมีค่ามอดูลัสของยัง $Y = 2 \times 10^{11}$ นิวตัน / เมตร^2 จงหาว่าจะออกแรงดึงกี่นิวตัน จึงจะทำให้แท่งโลหะมีความยาวเพิ่ม 0.01 เปอร์เซ็นต์

1. 5,000
2. 5,700
3. 6,300
4. 7,000

2. กราฟความเค้น ความเครียด



❶ Proportional limit (ขีดจำกัดการแปรผันตรง) ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายที่ความยาวสปริงยืดออก โดยการยืดตัวจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึง ความชันของกราฟในช่วงนี้เท่ากับ E

❷ yield point(จุดคราก) หรือ elastic limit(ขีดจำกัดยืดหยุ่น) ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายที่สปริงยืดออกแล้วกลับสู่สภาพเดิม แต่แรงดึงไม่แปรผันตรงกับระยะยืด

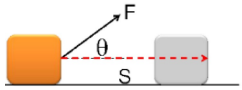
❸ Breaking point หรือ Ultimate Tensile Strength(จุดแตกหัก) เป็นตำแหน่งที่วัดสุดฉีกขาด

6. งาน กำลังงาน ผลังงาน

1. การหางานทางฟิสิกส์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ขนาดแรงกระทำ	F	N นิวตัน
2	ขนาดการกระจัด	S	m เมตร
3	มุมระหว่างแรงและการกระจัด	θ	องศา
4	งานของแรงกระทำ	W	J จูล
5	งานของแรงลัพธ์	$W_{ทั้งหมด}$	J จูล
6	ขนาดความเร่ง	a	m/s^2
7	มวล	m	kg กิโลกรัม

❶ สูตร $W = F S \cos\theta$



❷ $W > 0$ → แรงทำงาน ... ส่งผลให้ พลังงานสะสมในวัตถุเพิ่มขึ้น

$W < 0$ → แรงทำให้เสียงาน ...ส่งผลให้ พลังงานสะสมในวัตถุลดลง

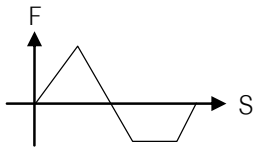
$W = 0$ → แรงไม่ทำให้ได้หรือเสียงาน ...ส่งผลให้ พลังงานสะสมในวัตถุคงที่

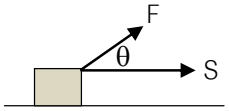
❸ $W_{ทั้งหมด}$ = ผลรวมของงานจากทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุ

$W_{ทั้งหมด} = S a m$

2. การหางานจากกราฟ F-S

❶ W = (พื้นที่ใต้กราฟ F – S) x $\cos\theta$ (คิดเครื่องหมาย)





3. กำลังงาน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงกระทำ	F	N นิวตัน
2	อัตราเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
3	กำลังงาน	P	Watt วัตต์
4	งาน	W	J จูล
5	เวลา	t	sec วินาที
6	กำลังงานเฉลี่ย	$P_{เฉลี่ย}$	Watt วัตต์
7	อัตราเร็วต้น	u	m/s เมตร/วินาที
8	อัตราเร็วปลาย	v	m/s เมตร/วินาที
9	อัตราเร็วเฉลี่ย	$v_{เฉลี่ย}$	m/s เมตร/วินาที

❶ กำลังงาน $P = F v$

❷ กำลังงานเฉลี่ย $P_{เฉลี่ย} = \frac{W}{t} = F v_{เฉลี่ย}$

$v_{เฉลี่ย} = \frac{u + v}{2}$

4. พลังงานกล

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานศักย์โน้มถ่วง	E_P	J จูล
2	พลังงานจลน์	E_k	J จูล
3	พลังงานศักย์ยืดหยุ่น	E_s	J จูล
4	แรงในสปริง	F_s	N นิวตัน
5	ระยะยืด(หด) ของสปริง	x	m เมตร
6	มวล	m	kg นิวตัน
7	อัตราเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
8	ค่าคงที่ของสปริง	k	N/m นิวตัน/เมตร
9	ความสูง	h	m เมตร
10	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	g	m/s^2

❶ พลังงานศักย์โน้มถ่วง $E_P = m g h$

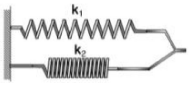
❷ พลังงานจลน์ $E_k = \frac{1}{2} m v^2$

❸ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น $E_s = \frac{1}{2} k x^2$

❹ แรงสปริง $F_s = k x$

❺ การต่อสปริง

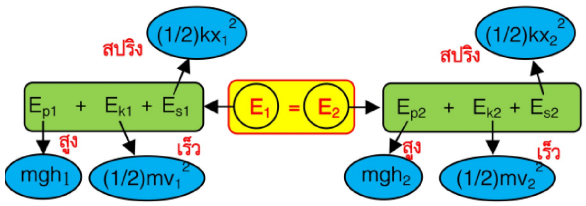
$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$



$k = k_1 + k_2$

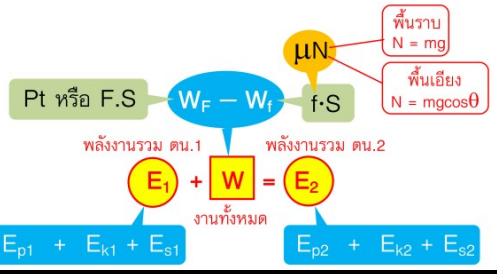
5. การอนุรักษ์พลังงาน(สำหรับการเคลื่อนที่อิสระทุกชนิด)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานรวม ตน.1 และ ตน.2	E_1, E_2	J



6. สมการงานและพลังงาน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานรวม ตน.1 และ ตน.2	E_1, E_2	J
2	งานของแรงกระทำ	W_F	J
3	งานของแรงต้าน	W_f	J



7. โมเมนตัม และ การชน

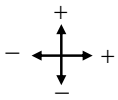
1. โมเมนตัม , การดล 1 มิติ และแรงดล 1 มิติ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวล	m	kg
2	ความเร็ว	$\vec{v}$	m/s
3	โมเมนตัม	$\vec{P}$	kg.m/s
4	โมเมนตัมตอนแรก	$\vec{P}_1$	kg.m/s
5	โมเมนตัมตอนหลัง	$\vec{P}_2$	kg.m/s
6	ความเร็วตอนแรก	$\vec{v}_1$	m/s
7	ความเร็วตอนหลัง	$\vec{v}_2$	m/s
8	การดล	$\Delta\vec{P}$	kg.m/s
9	แรงดล(หรือ แรงเฉลี่ย)	$\Delta\vec{F}$	N
10	เวลา(ที่กระทบกัน)	Δt	sec

❶ โมเมนตัม คือ ความพยายามเคลื่อนที่ไปข้างหน้า $\vec{P} = m\,\vec{v}$

❷ การดล หรือ "การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม"

$$\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$



❸ แรงดล หรือ แรงเฉลี่ย หรือ อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม

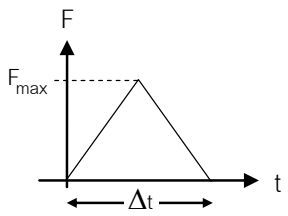
$$\Delta\vec{F} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$$

2. การดล 2 มิติ , แรงดล 2 มิติ

ตัวอย่าง ลูกบอลตกกระทบกำแพงด้วยความเร็ว 20 m/s ด้วยมุมตกกระทบ 37° และสะท้อนกลับด้วยความเร็ว 10 m/s ด้วยมุมสะท้อน 53° จงหาแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อลูกบอล หากกำหนดให้ลูกบอลมวล 200 กรัม

3. กราฟ F – t

ΔP = พื้นที่ใต้กราฟ F – t



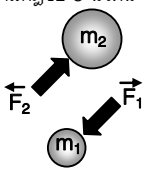
4. โมเมนตัม , การดล 1 มิติ และแรงดล 1 มิติ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวลวัตถุก้อนที่ 1 , 2	m_1, m_2	kg
2	ความเร็วก่อนชนก้อนที่ 1,2	$\vec{u}_1, \vec{u}_2$	m/s
3	ความเร็วหลังชนก้อนที่ 1,2	$\vec{v}_1, \vec{v}_2$	m/s
4	ความเร่งวัตถุก้อนที่ 1 , 2	$\vec{a}_1, \vec{a}_2$	m/s^2
5	เวลาขณะชนกัน	t	sec
6	ผลรวมโมเมนตัมก่อนชน	$\sum\vec{P}_{ก่อน}$	kg.m/s
7	ผลรวมโมเมนตัมหลังชน	$\sum\vec{P}_{หลัง}$	kg.m/s
8	ผลรวมพลังงานจลน์ก่อนชน	$\sum E_{k\ ก่อน}$	J
9	ผลรวมพลังงานจลน์หลังชน	$\sum E_{k\ หลัง}$	J

❶ ขณะวัตถุกระทบกันเกิดแรงกระทำต่อกันตามกฎข้อ 3 นิวตัน

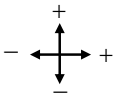
Action = – Reaction

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$
$$m_1\,\vec{a}_1 = -\,m_2\,\vec{a}_2$$

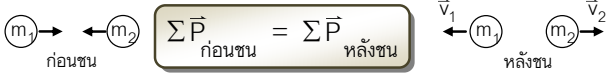


❷ จากข้อ ❶ จึงได้ว่า

$$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$



❸ จากข้อ ❷ เรียก ด้านซ้ายว่า "ผลรวมโมเมนตัมก่อนชน"
ด้านขวาว่า "ผลรวมโมเมนตัมหลังชน"



❹ การชนทุกชนิดต้อง "อนุรักษ์โมเมนตัม"

❺ การชนที่อนุรักษ์พลังงาน เรียก "การชนแบบยืดหยุ่น"

$$\Sigma E_{k\ ก่อนชน} = \Sigma E_{k\ หลังชน}$$

❻ การชนที่ไม่อนุรักษ์พลังงาน เรียก "การชนแบบไม่ยืดหยุ่น" คือ สูญเสียพลังงาน

$$E_{k\ สูญเสีย} = \Sigma E_{k\ ก่อนชน} - \Sigma E_{k\ หลังชน}$$

ตัวอย่าง รถทดลองมวล 1.0 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที เข้าชนรถทดลองอีกคันหนึ่ง ซึ่งมีมวลเท่ากันและอยู่นิ่ง หลังการชนรถทดลองทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไป จงหาค่าพลังงานความร้อนที่เกิดจากการชน

1. 0.25 J 2. 0.5 J 3. 0.75 J 4. 1.0 J

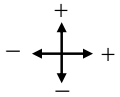
5. การชนแบบยืดหยุ่น 1 มิติ

❶ "การชนแบบยืดหยุ่น" คือ การชนที่ไม่สูญเสียพลังงาน

$$\Sigma E_{k\ \text{ก่อนชน}} = \Sigma E_{k\ \text{หลังชน}}$$

❷ สำหรับการชน 1 มิติ (แนวราบ หรือ แนวดิ่ง)

$$\vec{u}_1 + \vec{v}_1 = \vec{u}_2 + \vec{v}_2$$



6. การชน 2 มิติ

❶ แตกความเร็วเข้าสู่แกน x และ y

❷ อนุรักษ์โมเมนตัมแกน x

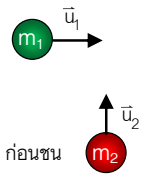
$$m_1\vec{u}_{1x} + m_2\vec{u}_{2x} = m_1\vec{v}_{1x} + m_2\vec{v}_{2x}$$

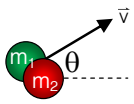
❷ อนุรักษ์โมเมนตัมแกน y

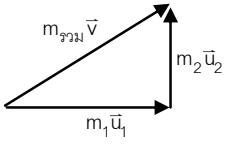
$$m_1\vec{u}_{1y} + m_2\vec{u}_{2y} = m_1\vec{v}_{1y} + m_2\vec{v}_{2y}$$

ตัวอย่าง ลูกบิลเลียดลูกหนึ่งวิ่งเข้าชนลูกบิลเลียดอีกสองลูกซึ่งอยู่นิ่ง ด้วยความเร็ว 10 เมตร/วินาที หลังการชนลูกบิลเลียดลูกหนึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับความเร็วก่อนชนด้วยความเร็ว 7 เมตร/วินาที และอีกลูกหนึ่งเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉาก กับทิศนี้ด้วยความเร็ว 4 เมตร/วินาที จงหาขนาดของความเร็วบิลเลียดลูกที่สาม ถ้าการชนเป็นแบบยืดหยุ่นและมวลของลูกบิลเลียดทั้งสามลูกมีค่าเท่ากัน

7. การชน 2 มิติ แบบตั้งฉากติดกันไป

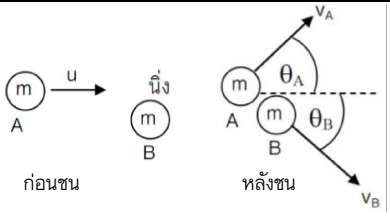






ตัวอย่าง วัตถุมวล 4 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที ไปทางทิศเหนือเข้าชนมวล 6 กิโลกรัม ซึ่งเคลื่อนที่มาด้วยความเร็ว 3 เมตร/วินาที ไปทางทิศตะวันออก ภายหลังการชนปรากฏว่ามวลทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไปด้วยความเร็วเท่าใด

8. การชน 2 มิติ ที่มีมวลเท่ากัน ยืดหยุ่น



$$\theta_A + \theta_B = 90$$
$$v_A = u\cos\theta_A$$
$$v_B = u\cos\theta_B$$

9. การกระเบิด

❶ การระเบิดต้องอนุรักษ์โมเมนตัม

ตัวอย่าง วัตถุอันหนึ่งเมื่อเกิดการระเบิด เศษชิ้นส่วนกระจายอยู่ในแนวระดับ 3 ทิศทาง เมื่อวัดมุมในทิศตามเข็มนาฬิกา พบว่าชิ้นส่วนที่ 1 กับชิ้นส่วนที่ 2 ทำมุมกัน 90° ชิ้นส่วนที่ 2 กับชิ้นส่วนที่ 3 ทำมุมกัน 120° ถ้ามวลของชิ้นส่วนทั้งสามมีค่าเดียวกัน อัตราเร็วของชิ้นส่วนที่ 1 จะเป็นกี่เท่าของชิ้นส่วนที่ 2

10. การวิเคราะห์เหตุการณ์หลังการชน

ตัวอย่าง ลูกปืนมวล 5 กรัม มีความเร็ว 800 เมตร/วินาที ยิงทะลุแผ่นไม้หนัก 500 กรัม ที่ห้อยแขวนไว้ด้วยเชือกยาวหลังจากทะลุแผ่นไม้ลูกปืนมีความเร็ว 400 เมตร/วินาที จงหาว่าแท่งไม้จะแกว่งขึ้นไปสูงจากจุดหยุดนิ่งเท่าใด

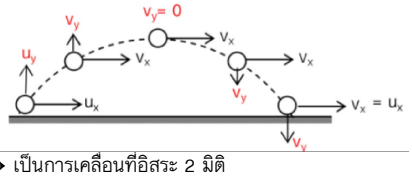
8. โปรเจ็คไทล์

1. ความรู้พื้นฐานของโปรเจ็คไทล์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ตัวห้อยแนวราบ , แนวดิ่ง	x,y	
2	แรงกระทำ	$\vec{F}$	N
3	ความเร็วต้น	$\vec{u}$	m/s
4	ความเร็วปลาย	$\vec{v}$	m/s
5	ความเร่ง	$\vec{a}$	m/s^2
6	มวล	m	Kg
7	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	$\vec{g}$	m/s^2
8	การกระจัด	$\vec{S}$	m

❶ หัวใจของทั้งบท

แนวราบ(x)	แนวดิ่ง(y)
$\vec{F}_x = 0$ ส่งผลให้ $\vec{a}_x = 0$ ความเร็วแนวราบคงที่($v_x = u_x$)	$\vec{F}_y = m\vec{g} \downarrow$ ส่งผลให้ $\vec{a}_y = \vec{g} \downarrow$ ความเร็วแนวดิ่งไม่คงที่($v_y \neq u_y$)



❷ โปรเจ็คไทล์ → เป็นการเคลื่อนที่อิสระ 2 มิติ

ทุกตำแหน่งจะมี u → u_x , u_y , v → v_x , v_y , S → S_x , S_y

→ เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นรูปพาราโบลาคว่ำ

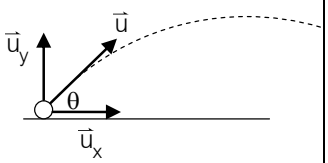
→ ณ.ตำแหน่งสูงสุด $v \neq 0$ แต่ $v = v_x$ เนื่องจาก $v_y = o$

2. สูตรคำนวณ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มุมที่ u กระทำกับแนวราบ	θ	องศา
2	เวลา	t	sec

❶ โปรเจ็คไทล์ $0 < \theta < 180 , \theta \neq 90^o$

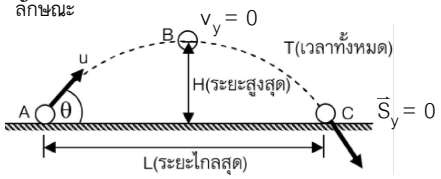
❷ สูตร

แนวราบ(x)	แนวดิ่ง(y)
$\vec{F}_x = 0$ ส่งผลให้ $\vec{a}_x = 0$ ความเร็วแนวราบคงที่($\vec{v}_x = \vec{u}_x$)	$\vec{F}_y = m\vec{g} \downarrow$ ส่งผลให้ $\vec{a}_y = \vec{g} \downarrow$ ความเร็วแนวดิ่งไม่คงที่($v_y \neq u_y$)
$\vec{S}_x = \vec{v}_x t$	$\vec{v}_y = \vec{u}_y + \vec{g}\, t$
	$\vec{S}_y = \vec{v}_y t - \frac{1}{2}\vec{g}\, t^2$
	$\vec{S}_y = \vec{u}_y t + \frac{1}{2}\vec{g}\, t^2$
	$\vec{S}_y = \left(\frac{\vec{u}_y + \vec{v}_y}{2}\right) t$
$u_x = u\cos\theta$	$\vec{v}_y^{\,2} = \vec{u}_y^{\,2} + 2\vec{g}\vec{S}_y$
$u_y = u\sin\theta$	

3. รูปแบบ ดิน – ดิน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ระยะสูงสุด(แทน $v_y = 0$)	$S_y = H$	m
2	เวลาทั้งหมด(แทน $S_y = 0$)	$t = T$	sec
3	ระยะไกลสุด(แทน t ด้วย T)	$S_x = L$	m
4	มุมปา 2 ครั้ง(ตกที่เดียวกัน)	α, β	องศา

❶ ลักษณะ



❷ สูตรคำนวณ

ⓐ แทน $\vec{v}_y = 0$, $\vec{g} = -g$, $\vec{S}_y = H$ ลงใน $\vec{v}_y^{\,2} = \vec{u}_y^{\,2} + 2\vec{g}\vec{S}_y$ ⇨ $S_y = H = \frac{u_y^2}{2g}$

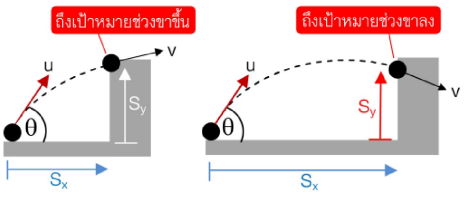
ⓑ แทน $\vec{S}_y = 0$, $\vec{g} = -g$, $t = T$ ลงใน $\vec{S}_y = \vec{u}_y t + \frac{1}{2}\vec{g}\, t^2$ ⇨ $t = T = \frac{2u_y}{g}$

ⓒ แทน $t = T$ ลงใน $\vec{S}_x = \vec{u}_x t$ ⇨ $S_x = L = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$

❸ มุม $\theta = 45^o$ จะทำให้ L ได้ไกลสุด

❹ ปาสองครั้งด้วย u เท่ากัน หากไปไกลเท่ากัน สรุปได้ว่า $\alpha + \beta = 90^o$

3. รูปแบบ ดิน – อากาศ



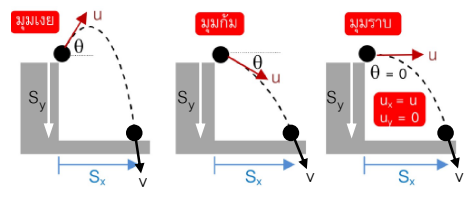
$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$

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

$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$

ใช้สูตรเดียวกับหัวข้อที่ 2 โดย u_y มีทิศเป็น + เสมอ ใครมีทิศสวนทาง u_y ให้เป็น –

4. รูปแบบ อากาศ – ดิน



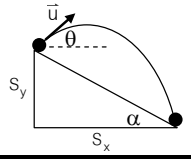
$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$

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

$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$

ใช้สูตรเดียวกับหัวข้อที่ 2 โดย u_y มีทิศเป็น + เสมอ ใครมีทิศสวนทาง u_y ให้เป็น –

5. โปรเจ็คไทล์บนพื้นเอียง



ใช้หลักการเดียวกันกับรูปแบบอากาศ–ดิน

$\tan\alpha = \frac{S_y}{S_x}$

9. การเคลื่อนที่แบบวงกลม

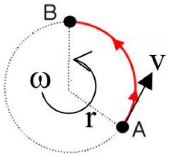
1. ความรู้เบื้องต้น

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนรอบของการหมุน	N	รอบ
2	เวลา	t	sec
3	ความถี่	f	Hz
4	คาบเวลา	T	sec
5	อัตราเร็วเชิงเส้น	v	m/s
6	อัตราเร็วเชิงมุม	ω	rad/sec
7	มุมรองรับส่วนโค้ง	θ	องศา
8	รัศมีของวงกลม	r	m
9	มวล	m	Kg
10	แรงลัพธ์สู่ศูนย์กลาง	ΣF_c	N
11	ความเร่งสู่ศูนย์กลาง	a_c	m/s^2

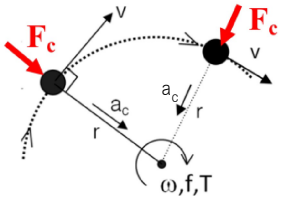
❶ ความถี่ , คาบเวลา และ อัตราเร็ว

$$\omega = \frac{v}{r} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{\theta}{t}$$

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



❷ แรงสู่ศูนย์กลาง ความเร่งสู่ศูนย์กลาง



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

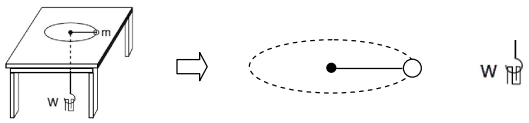
$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

❸ ลากจากวัตถุ ไปยัง ศก. เรียก แกน c , ลากเส้นตั้งฉากแกน c เรียก แกน t

❹ หลักครอบจักวาลในการทำโจทย์

✍ เขียนแรง ✍ กำหนดแกน c , t ✍ ใช้สูตร $\Sigma \vec{F}_c = m\vec{a}_c$

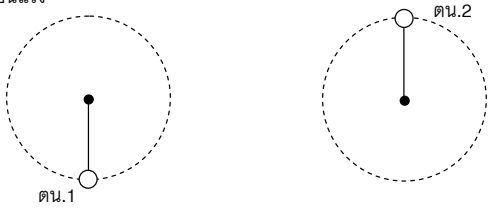
2. แบบที่ 1 วงกลมบนระนาบราบ

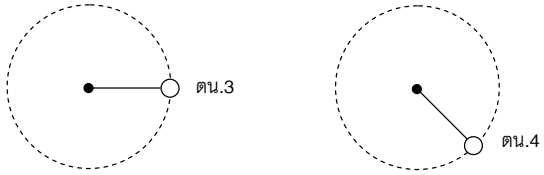


3. แบบที่ 2 วงกลมบนระนาบดิ่ง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงดึงเชือก	T	N
2	มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่ง	θ	องศา
3	ความยาวเชือก	L	m

❶ เขียนแรง





❷ คำว่า เคลื่อนที่เป็นวงกลมได้(พอดี)

หมายถึง $T_3 = 0 \rightarrow v_3 = \sqrt{rg} \rightarrow v_1 = \sqrt{5rg}$

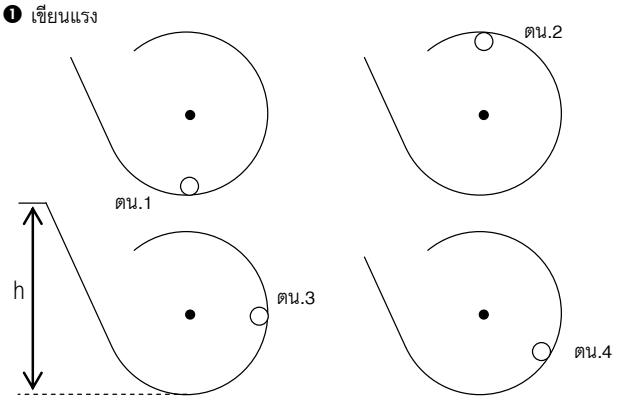
❸ ตำแหน่งต่ำๆ แรงดึงเชือกจะมีค่ามาก

❹ หาอัตราเร็วโดยสูตร "อนุรักษ์พลังงาน"

4. แบบที่ 3 วงกลมในรางโค้ง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงปฏิกิริยาที่พื้นรางกระทำวัตถุ	T	N
2	มุมเทียบแนวดิ่ง ณ.ตำแหน่งวัตถุ	θ	องศา
3	รัศมีราง	r	m

❶ เขียนแรง



❷ คำว่า เคลื่อนที่เป็นวงกลมได้(พอดี)

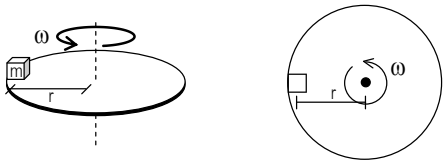
หมายถึง $N_2 = 0 \rightarrow v_2 = \sqrt{rg} \rightarrow v_1 = \sqrt{5rg} \rightarrow h = 2.5r$

❸ หาอัตราเร็วโดยสูตร "อนุรักษ์พลังงาน"

5. แบบที่ 4 แผ่นเสียงจานหมุน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สปส.ความเสียดทานสถิต	μ_s	-
2	แรงเสียดทานสถิต	f_s	N

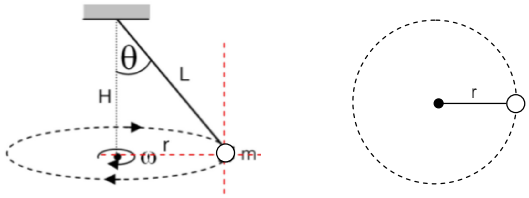
❶ เขียนแรง



6. แบบที่ 5 แพนดูลัมกรวย

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มุมที่เส้นเชือกเอียงเทียบแนวดิ่ง	θ	องศา
2	ความยาวเชือก	L	m
3	ความลึกของระนาบการแกว่ง	H	m
4	อัตราเร็วเชิงมุม	ω	rad/sec
5	คาบเวลา	T	sec

❶ เขียนแรง



*** ต้องแยก r กับ L ออกจากกันให้ได้นะครับ จากรูป r = L sin θ***

❷ เรื่อง แพนดูลัมกรวย อย่าลืม "สมดุลแนวดิ่ง" นะครับ เมื่อนำสมการของทั้งสองแกนมาหารกัน จะได้ พี่จะทำให้ดูนะ...

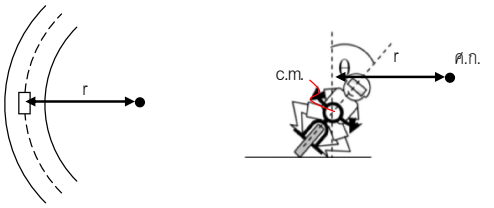
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{H}}$$

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

7. แบบที่ 6 การเลี้ยวโค้งบนถนนราบ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สปส.ความเสียดทานสถิต	μ_s	-
2	แรงเสียดทานสถิต	f_s	N
3	รัศมีความโค้งของถนน	r	m
4	มุมเอียงตัว	θ	องศา
5	อัตราเร็วเชิงเส้นของการขับขี่	v	m/s

❶ เขียนแรง...ฝึกสร้างสมการ



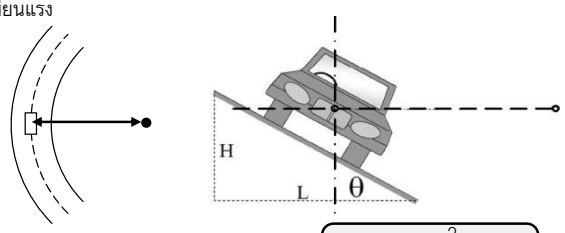
❷ การหามุมเอียงตัว(θ) เพื่อป้องกันการพลิกคว่ำ ใช้หลัก $\Sigma M = 0$ คือ ให้แรงลัพธ์ของ f และ N ผ่านจุดศูนย์กลางมวล พี่จะทำให้ดูนะ...

$$\tan\theta = \frac{v^2}{rg}$$

8. แบบที่ 7 การเลี้ยวโค้งบนถนนเอียง(ลื่น)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ระยะยกขอบนอกของถนน	H	m
2	ความกว้างของถนนแนวราบ	L	m
3	รัศมีความโค้งของถนน	r	m
4	มุมเอียงของถนน	θ	องศา

❶ เขียนแรง



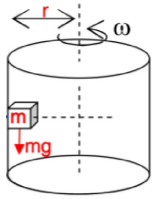
❷ อาศัยสมการทั้งสองแกน นำมาหารกันจะได้ ลองฝึกทำดูนะครับ

$$\tan\theta = \frac{v^2}{rg} = \frac{H}{L}$$

9. แบบที่ 8 รถไต่ถัง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วเชิงมุมของถังที่หมุน	ω	rad/sec
2	รัศมีถัง	r	m
3	สปส.ความเสียดทานสถิต	μ_s	-

❶ เขียนแรง ลองฝึกตั้งสมการเองซิครับ ใช้ 2 สมการ...จัดรูป

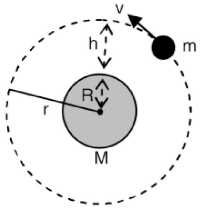


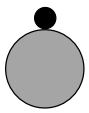
10. แบบที่ 9 ดาวเทียม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	รัศมีโลก(ดวงดาว)	R	m
2	รัศมีการโคจรของดาวเทียม	r	m
3	อัตราเร็วเชิงมุมดาวเทียม	ω	rad/sec
4	อัตราเร็วเชิงเส้นดาวเทียม	v	m/s
5	คาบเวลาดาวเทียม	T	sec
6	ความถี่การโคจร	f	Hz
7	ความสูงจากผิวโลก(ดาว)	h	m

❶ เขียนแรงกรณีเคลื่อนที่เป็นวงกลม เขียนสมการขึ้นมา

❷ เขียนแรงกรณีวางวัตถุที่ผิวโลก(หมุน) เขียนสมการขึ้นมา





ลองฝึกจัดรูปให้ได้สูตรต่อไปนี้

$$\omega = R\sqrt{\frac{g}{r^3}} \qquad v = R\sqrt{\frac{g}{r}} \qquad T^2 \alpha r^3$$

รู้นะ r = R + h

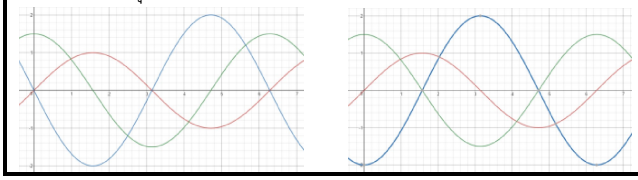
10. ซิมเปิ้ลฮามอร์นิก

1. การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	การกระจัด	$\vec{x}$	m
2	ความเร็ว	$\vec{v}$	m/s
3	ความเร่ง	$\vec{a}$	m/s^2
4	เฟสเริ่มต้น	ϕ	rad , $^\circ$

❶ $\phi_x \xrightarrow{+90} \phi_v \xrightarrow{+90} \phi_a$

ตัวอย่าง จงระบุว่ากราฟใดเป็นกราฟ การกระจัด ความเร็ว และ ความเร่ง



2. การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง...โดเมนเวลา

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วเชิงมุม	ω	rad/sec
2	เวลา	t	sec
3	ความถี่	f	Hz
4	คาบเวลา	T	sec
5	เฟสเริ่มต้น	ϕ	rad , $^\circ$
6	แอมปลิจูด(ขนาดการกระจัดสูงสุด)	A	M
7	อัตราเร็วสูงสุด	v_{max}	m/s
8	อัตราเร่งสูงสุด	a_{max}	m/s^2

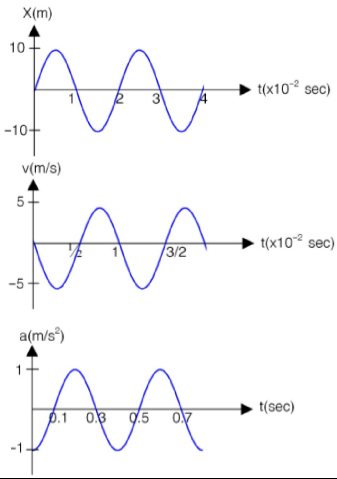
❶ ฟังก์ชันโดเมนเวลา $f(x) = Max \cdot \sin(\omega t + \phi)$

$$\omega = \frac{v}{r} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{\theta}{t}$$

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

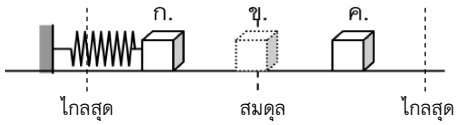
❷ ค่าสูงสุด $x_{Max} = A$ $v_{Max} = \omega A$ $a_{Max} = \omega^2 A$

ตัวอย่าง จงเขียนฟังก์ชันของกราฟในแต่ละข้อต่อไปนี้



3. การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง...โดเมน x

❶

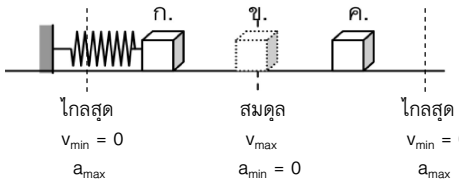


❷ 1) การกระจัด(X) เป็น + เสมอ มีทิศออกจาก ตน.สมดุลเสมอ
2) ความเร่ง(a) เป็น – เสมอ มีทิศเข้าหา ตน.สมดุลเสมอ
3) ความเร็ว(v) เป็น + หรือ – ก็ได้ ... เข้าหาสมดุล + , ออกจากสมดุล –

❸ $\vec{v} = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$ $\vec{a} = -\omega^2 x$

4. ค่าสูงสุด และต่ำสุดของ x , v , a

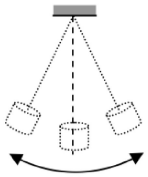
❶



❷ $x_{Max} = A$ $v_{Max} = \omega A$ $a_{Max} = \omega^2 A$

5. ซิมเปิ้ลแพนดูลัม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความยาวเชือก	L	m
2	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	g	m/s
3	อัตราเร็วเชิงมุม	ω	rad/sec
4	คาบเวลา	T	sec

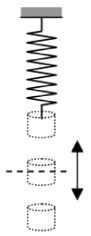


$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

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

6. ซิมเปิ้ลสปริง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวล	m	kg
2	ค่าคงที่สปริง	k	N/m



$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

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

11. การกลิ้ง

1. การเคลื่อนที่แบบกลิ้ง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	การกระจัดเชิงมุม	θ	rad
2	ความเร็วเชิงมุมตอนต้น	ω_0	rad/sec
3	ความเร็วเชิงมุมตอนปลาย	ω	rad/sec
4	ความเร่งเชิงมุม	α	rad/sec^2
5	เวลา	t	sec

❶ หลัก : วงกลมหมุนครบ 1 รอบ

มุม(θ) = 2π และ เส้นรอบรูป(S) = $2\pi r$

จับสมการหารกัน ย้ายข้างให้ได้ S $\xrightarrow{\text{diff}}$ v $\xrightarrow{\text{diff}}$ a

$S = r\theta$
$v = r\omega$
$a = r\alpha$

❷ การเทียบเท่าตัวแปรระหว่างเชิงเส้นกับเชิงมุม(ทุกเรื่องนะ)

ชื่อ	เชิงเส้น	เชิงมุม
❶ การกระจัด	S	θ
❷ ความเร็วต้น	u	ω_0
❸ ความเร็วปลาย	v	ω
❹ ความเร่ง	a	α
❺ เวลา	t	t
❻ แรง	F	τ หรือ M
❼ มวล	m	I
❽ พลังงานจลน์	E_k	E_{kR}
❾ โมเมนตัม	P	L
❿ การดล	ΔP	ΔL

❸ การแปลงสูตร S u v a t

$\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$ ⇨

$\vec{S} = \vec{v}t - \frac{1}{2}\vec{a}t^2$ ⇨

$\vec{S} = \vec{u}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$ ⇨

$\vec{S} = \left(\frac{\vec{u}+\vec{v}}{2}\right)t$ ⇨

$\vec{v}^2 = \vec{u}^2 + 2\vec{a}\vec{S}$ ⇨

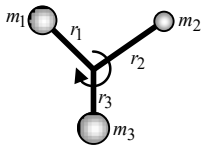
2. โมเมนต์ความเฉื่อย ทอร์ก และ กฎข้อ 2 นิวตัน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวล	m	kg
2	ระยะห่างเทียบแกนหมุน	r	m
3	โมเมนต์ความเฉื่อย	I	kg.m^2
4	ทอร์ก(โมเมนต์)	τ	N.m
5	แรง	F	N
6	ระยะห่างจากจุดหมุน	R	m

❶ โมเมนต์ความเฉื่อย(ความเฉื่อยเชิงมุม)

$I = \sum mr^2$

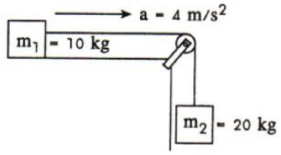
จากรูป $I =$



❷ ทอร์ก ก็คือ โมเมนต์ สูตรจะคล้ายกัน คือ $\tau = M = F \times R$

❸ กฎข้อ 2 ของนิวตัน เราเคยเรียนมาว่า $\sum F = ma$ เมื่ออาศัยหลักการเทียบตัวแปร จึงได้สูตร คือ

ตัวอย่าง มวล m_1 และ m_2 ผูกต่อกันด้วยเชือกเบา คล้องผ่านรอกที่มีรัศมี 0.25 เมตร พบว่ามวล m_1 เคลื่อนที่ตามพื้นราบเกลี้ยงด้วยความเร่ง 4 เมตรต่อวินาที^{2} โมเมนต์ความเฉื่อยของรอกมีค่ากี่กิโลกรัม-เมตร^2



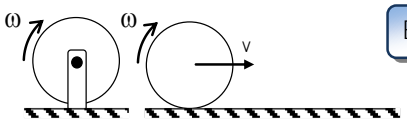
3. งาน กำลังงาน และพลังงานจลน์ในการกลิ้ง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	งานของการกลิ้ง	W_r	J
2	กำลังของการกลิ้ง	P_r	watt
3	กำลังเฉลี่ยของการกลิ้ง	$P_{r\,เฉลี่ย}$	watt
4	พลังงานจลน์ของการกลิ้ง	E_{kr}	J
5	พลังงานจลน์ทั้งหมด	$E_{k\,รวม}$	J
6	ความสูงพื้นเอียง	h	m
7	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	g	m/s^2
8	สปส.โมเมนต์ความเฉื่อย	k	-
9	อัตราเร็วของจุด ศก. มวล	v	m/s

❶ งาน กำลังงาน กำลังเฉลี่ย พลังงานจลน์

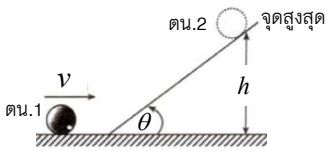
	เชิงเส้น(เคลื่อนที่)	เชิงมุม(กลิ้ง,หมุน)
งาน	$W = F.S$	
กำลังงาน	$P = Fv$	
กำลังเฉลี่ย	$P_{เฉลี่ย} = \frac{W}{t}$	
พลังงานจลน์	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	

❷ พลังงานจลน์รวมของการกลิ้ง



$E_{k\,รวม} = E_k + E_{kr}$

❸ การอนุรักษ์พลังงาน(โจทย์กลิ้งวัตถุบนพื้นเอียง)... หลัก $E_1 = E_2$



$v = \sqrt{\frac{2gh}{1+k}}$

4. โมเมนตัมเชิงมุม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความเร็วเชิงมุมตอนแรก	ω_1	rad/sec
2	ความเร็วเชิงมุมตอนหลัง	ω_2	rad/sec
3	โมเมนตัมเชิงมุม	L	kg.m^2.rad/sec
4	โมเมนต้มเชิงมุมตอนแรก	L_1	kg.m^2.rad/sec
5	โมเมนตัมเชิงมุมตอนหลัง	L_2	kg.m^2.rad/sec
6	การดลเชิงมุม	ΔL	kg.m^2.rad/sec
7	ทอร์กลัพธ์	$\Delta\tau$	N.m

❶ โมเมนตัมเชิงมุม $\vec{P} = m\,\vec{v}$ ⇨

❷ การดลเชิงมุม $\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$

⇨

❸ ทอร์กดล(ทอร์กลัพธ์) $\Delta\vec{F} = \dfrac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$ ⇨

❹ กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม $\Sigma\vec{P}_{\text{ก่อนชน}} = \Sigma\vec{P}_{\text{หลังชน}}$

⇨

ตัวอย่าง ชายคนหนึ่งยืนอยู่บนแป้นหมุนวิ่งหมุนรอบแกนดิ่ง ชายคนนี้และแป้นหมุนมีโมเมนต์ความเฉื่อย 8.0 กิโลกรัม.เมตร^2 มือแต่ละข้างถือดัมเบลไว้ข้างละอัน ดัมเบลแต่ละอันมีมวล 2.0 กิโลกรัม เหยียดแขนให้มวลดัมเบลอยู่ห่างจากแกนหมุน 1.0 เมตร แล้วหมุนแป้นจนมีอัตราเร็ว 5.0 รอบ/นาที ต่อไปหดแขน ให้ดัมเบลอยู่ห่างจากแกนหมุน 20 เซนติเมตร จงหาว่าแป้นจะหมุนด้วยอัตราเร็วกี่รอบ/นาที

1. 6.0 รอบ/นาที
2. 6.2 รอบ/นาที
3. 6.6 รอบ/นาที
4. 7.3 รอบ/นาที

12. ปรากฏการณ์คลื่น

1. การจำแนกคลื่นและความรู้เบื้องต้น

S = แหล่งกำเนิด , P = อนุภาคตัวกลาง , W = คลื่น

❶ คลื่น คือ รูปแบบการส่งพลังงานโดยการสั่นของ S

❷ คลื่นกล คือ คลื่นที่อาศัย P ในการส่งพลังงาน

❸ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(EMW) คือ คลื่นที่ไม่ใช้ P ในการส่งพลังงาน

*** พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า α f

❹ คลื่นตามยาว คือ คลื่นซึ่ง ทิศ W // ทิศการสั่นของ P

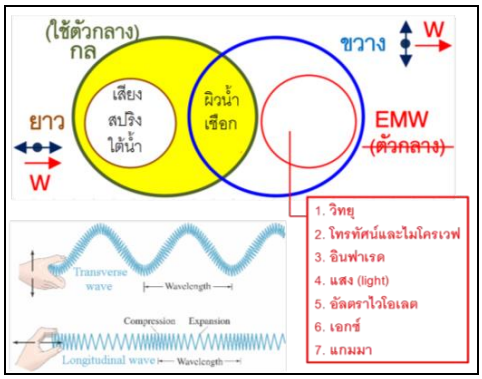
❺ คลื่นตามขวาง คือ คลื่นซึ่ง ทิศ W $\perp$ ทิศการสั่นของ P

❻ 1) $f_w = f_p = f_s$

2) $A_w = A_p = A_s$

3) $v_w \neq \omega_{P,S}$ W เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง แต่ P และ S สั่นแบบ SHM.

4) พลังงานคลื่นกล α A^2



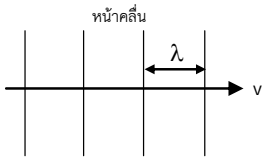
http://junior.edumedia-sciences.com/en/media/604-transverse-wave

2. อัตราเร็วคลื่น,ความยาวคลื่น,ความถี่

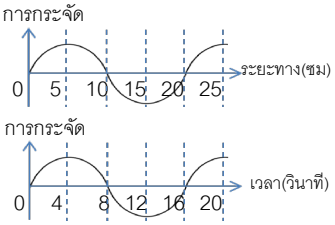
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความยาวคลื่น	λ	m เมตร
2	ความถี่	f	Hz,รอบ/วินาที
3	อัตราเร็วคลื่น	v	m/s เมตร/วินาที
4	คาบเวลา	T	sec วินาที
5	ระยะทาง	S	m เมตร
6	เวลา	t	sec วินาที
7	จำนวนลูก(รอบ)คลื่น	N	ลูก,รอบ

$$v = \frac{S}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

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



ตัวอย่าง จงหาความยาวคลื่น ระยะห่างระหว่างหน้าคลื่น คาบเวลา ความถี่ อัตราเร็วคลื่น



3. เฟส และ ความต่างเฟสของคลื่น

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต่างเฟส	$\Delta\phi$	องศา,rad
2	ระยะห่างระหว่าง 2 ตน.ใดๆ	ΔS	m เมตร
3	ผลต่างเวลา	Δt	sec วินาที
4	คาบเวลา	T	sec วินาที
5	ความยาวคลื่น	λ	m เมตร

$$\frac{\Delta\phi}{2\pi} = \frac{\Delta S}{\lambda} = \frac{\Delta t}{T}$$

"เฟสตรงกัน" ก็ต่อเมื่อ "$\Delta\phi = 0$"

"เฟสตรงข้าม" ก็ต่อเมื่อ "$\Delta\phi = 180$"

ตัวอย่าง ตัวกำเนิดคลื่นน้ำให้คลื่นที่มีความถี่ 8 เฮิรตซ์ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาทีจุด A และ B อยู่บนผิวน้ำในแนวเส้นตรงต่อกับตัวกำเนิดคลื่น โดยอยู่ห่าง 0.30 เมตร จุดทั้งสองมีเฟสต่างกันกี่เรเดียน

1. 0.25π
2. 0.4π
3. 2.25π
4. 2.40π

4. สมบัติคลื่น

คลื่นมีสมบัติ 4 ข้อ ได้แก่

❶ การสะท้อน เช่น เกิดเสียงสะท้อนกับหน้าผา

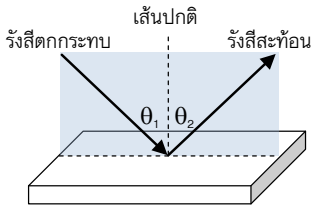
❷ การหักเห เช่น เกิดฟ้าแลบ แต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง

❸ การแทรกสอด เช่น เกิดเสียงดัง,ค่อยระหว่างลำโพง 2 ตัว

❹ การเลี้ยวเบน เช่น เกิดคลื่นด้านหลังสิ่งกีดขวาง

5. สมบัติการสะท้อนของคลื่น

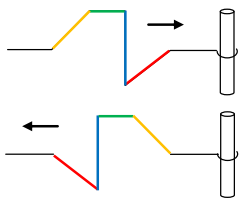
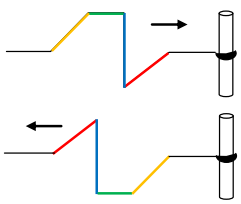
❶ กฎการสะท้อนมี 2 ข้อ ดังรูป



✌ รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน เส้นปกติ อยู่บนระนาบเดียวกัน

✌ มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

❷ เฟสของคลื่นสะท้อนให้พิจารณา ดังนี้

ปลายเปิด,ปลายอิสระ,เฟสตรงกัน	ปลายปิด,ปลายตรึง,เฟสตรงกันข้าม
 ซ้าย ↔ ขวา	 ซ้าย ↔ ขวา บน ↔ ล่าง

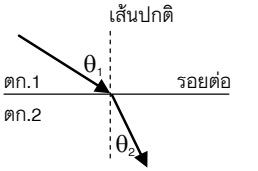
6. สมบัติการหักเหของคลื่น

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วคลื่นใน ตก.1 , ตก.2	v_1, v_2	m/s
2	ความยาวคลื่นใน ตก.1 , ตก.2	λ_1, λ_2	m
3	มุมตกกระทบ,มุมหักเห	θ_1, θ_2	องศา
4	ความลึกน้ำ	d	เมตร

❶ การหักเห คือ การที่คลื่นเปลี่ยนความเร็วเมื่อเปลี่ยนตัวกลาง ... (f คงที่)

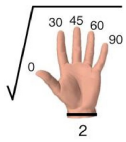
❷ สำหรับคลื่นน้ำ $\sin\theta$, v , λ α $\sqrt{d}$

❸ สูตรคำนวณ



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

ค่าของ sin = root(นิ้วด้านซ้าย) / 2



ต้องไม่ลืมว่า $\sin\theta \le 1$ นะครับ

ระวัง θ คือ มุมระหว่าง ทิศคลื่น กับ เส้นปกติ หรือ หน้าคลื่น กับ รอยต่อ

7. มุมวิกฤต และ การสะท้อนกลับหมด

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มุมวิกฤต	θ_c	องศา

❶ มุมวิกฤต(θ_C) ก็คือ θ_1 ที่ทำให้

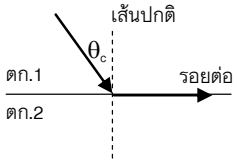
☝ "มุมหักเห(θ_2) = 90°

หรือ ✌ "รังสีหักเหทับรอยต่อ(ระหว่างตัวกลาง)

หรือ 🤙 "หน้าคลื่นหักเหตั้งฉากกับรอยต่อ(ระหว่างตัวกลาง)

❷ สูตร ก็คือ

$$\frac{\sin\theta_{1c}}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$



❸ มุมวิกฤต(θ_C) เกิดขึ้นเมื่อ คลื่นเคลื่อนที่จาก

น้ำ : น้ำตื้น → น้ำลึก เสียง : อากาศเย็น → ร้อน

แสง : ดัชนีหักเหมาก → น้อย

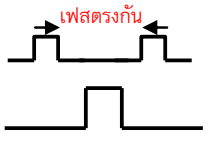
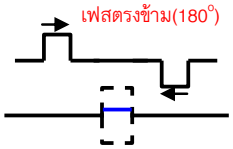
❹ การสะท้อนกลับหมด เกิดขึ้นเมื่อ $\theta_1 > \theta_C$ หรือ สังเกตุที่ $\sin\theta > 1$

8. สมบัติการแทรกสอดของคลื่น

❶ สาเหตุ คือ คลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่มาพบกัน

ผล คือ คลื่นรวมตัวกัน ทำให้แอมปิจูดเปลี่ยนไป

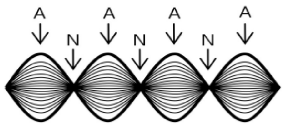
❷ การซ้อนทับของคลื่น มี 2 แบบ ดังตาราง

♦ ซ้อนทับแบบเสริม (เรียก ปฏิบัพ A)	♦ ซ้อนทับแบบหักล้าง (เรียก บัพ N)
เฟสตรงกัน	เฟสตรงข้าม(180°)
	

9. คลื่นนิ่ง

❶ แหล่งกำเนิดอาพันธ์ คือ แหล่งกำเนิด 2 แหล่ง(S_1, S_2) ที่เหมือนกันทุกประการ (v , f ,λ) แต่จะมีเฟสต่างกันคงที่

❷ คลื่นนิ่ง คือ คลื่นที่ไม่ส่งพลังงาน(แต่สั่น) เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์แทรกสอด

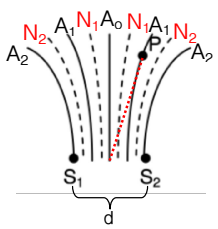


$$\text{Loop} = \frac{\lambda}{2}$$

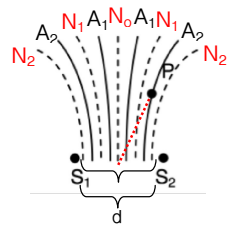
10. ริ้วรอยการแทรกสอด

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	การแทรกสอดแบบเสริม	A	-
2	การแทรกสอดแบบหักล้าง	N	-
3	มุมเบี่ยงเบนจากแนวกลาง	θ	-
4	ตำแหน่งที่สนใจ	P	-
5	ระยะจาก P ไปยัง S_1 และ S_2	S_1P, S_2P	m,cm
6	ผลต่างระหว่าง S_1P กับ S_2P	PD	m,cm
7	เลขลำดับของ A และ N	n	-
8	ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิด	d	m,cm

S_1, S_2 เฟสตรงกัน มี A_o



S_1, S_2 เฟสตรงกันข้าม มี N_o



$$\frac{|S_1P - S_2P|}{d\sin\theta} = PD = \begin{cases} n\lambda & \text{เมื่อ } n = 0,1,2,\ldots \\ (n - \frac{1}{2})\lambda & \text{เมื่อ } n = 1,2,3,\ldots \end{cases}$$

หาจำนวนริ้ว ให้แทน $\sin\theta = 1$ แก้สมการหา n (ถ้าลงตัว...ริ้วสุดท้ายทับ S_1, S_2) แล้วพิจารณาทั้งสองฝั่ง(คูณ 2) ... + 1 ถ้ามีริ้วกลาง

ระวังคำถาม ... "ทั้งหมด" หรือ "ระหว่าง"

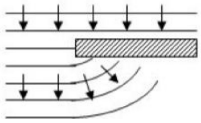
11. สมบัติการเลี้ยวเบนของคลื่น

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความยาวคลื่น	λ	m,cm
2	ความกว้างช่องแคบเดี่ยว	d	m,cm

❶ หลักการของ "ออยแกน" กล่าวว่า "ทุกจุดบนหน้าคลื่นเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นได้"

❷ คลื่นเลี้ยวเบนจะทำให้เกิดคลื่นด้านหลังสิ่งกีดขวาง

❸ การเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบคู่ ให้คิดเหมือนหัวข้อที่ 10



❹ การเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยว แยกเป็น 3 กรณี

- รูเล็ก[$\lambda >> d$] → ไม่เกิดริ้วการแทรกสอด
- รูใหญ่[$\lambda << d$] → เกิดริ้วการแทรกสอดมากมาย
- รูพอดี [$d/2 < \lambda < d$] → เรียก เลี้ยวเบนดี มี N ทั้งหมด 2 แนว

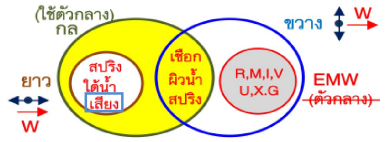
❺ การคำนวณการแทรกสอดผ่านช่องเดี่ยว ให้คิดเหมือนแบบกรณีมี A_0 แต่ให้

→ สลับ N กับ A

→ เปลี่ยน − เป็น +

13. เสียงและการได้ยิน

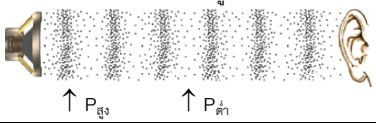
1. คลื่นเสียง



❶ เสียงเป็นคลื่นกล อาศัยตัวกลางในการส่งพลังงาน

❷ เสียงเป็นคลื่นตามยาว ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น // ทิศการสั่นของตัวกลาง

❸ การกระจัดมีเฟสนำหน้าความดัน อยู่ 90°

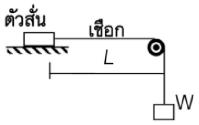


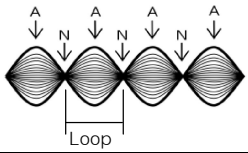
2. คลื่นเส้นลวด และ อัตราเร็วคลื่น

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	น้ำหนักถ่วง	W	N
2	แรงตึงเชือก	T	N
3	มวลเส้นเชือก	m	kg
4	ความยาวเชือก	ℓ	m
5	อัตราเร็วคลื่น	v	m/s
6	ความยาวคลื่น	λ	m
7	ความถี่	f	Hz,รอบ/วินาที
8	ระยะทาง	S	เมตร
9	เวลา	t	วินาที

❶ คลื่นในเส้นลวด ❷ คลื่นนิ่งในเส้นลวด ❸ อัตราเร็วคลื่น

$$v = \sqrt{\frac{T\ell}{m}} \qquad \text{Loop} = \frac{\lambda}{2} \qquad v = \frac{S}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$





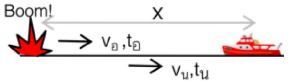
3. สมบัติการสะท้อน

❶ เสียงสะท้อนกับวัตถุที่มีขนาด $\geq \lambda$

❷ เสียงก้องจะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไข $t \geq 0.1$ วินาที

❸ สูตร $v = \frac{S}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$

❹ เสียงเดินทางใน 2 ตัวกลาง



$$X_{\text{อากาศ}} = X_{\text{น้ำ}} \qquad v_{\text{อ}} t_{\text{อ}} = v_{\text{น}} t_{\text{น}}$$

❺ อัตราเร็วเสียงในอากาศ

$$v = 331 + 0.6\,t \qquad \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

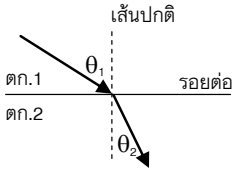
4. การหักเห มุมวิกฤต สะท้อนกลับหมด

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วเสียงใน ตก.1 , ตก.2	v_1, v_2	m/s
2	ความยาวคลื่นใน ตก.1 , ตก.2	λ_1, λ_2	m
3	มุมตกกระทบ,มุมหักเห	θ_1, θ_2	องศา
4	อุณหภูมิอากาศของ ตก.1, ตก.2	T_1, T_2	$K^{\text{เคลวิน}}$

❶ การหักเหของเสียง คือ การที่เสียงเปลี่ยนความเร็วเมื่อเปลี่ยนตัวกลาง (f คงที่)

❷ $\sin\theta$, v , λ α $\sqrt{T}$

❸ สูตรคำนวณการหักเห



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

ระวัง θ คือ มุมระหว่าง ทิศคลื่น กับ เส้นปกติ หรือ หน้าคลื่น กับ รอยต่อ

❹ มุมวิกฤต(θ_C) และการสะท้อนกลับหมด ใช้ความรู้เดียวกับหัวข้อที่ 7 บทที่แล้ว

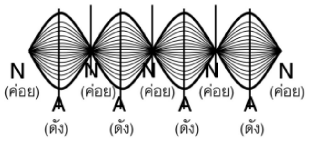
5. คลื่นนิ่ง และการแทรกสอด

❶ คลื่นนิ่ง = การแทรกสอดของแหล่งกำเนิดอาพันธ์

❷ A ⇒ ปฏิบัพ ⇒ เสริม ⇒ คลื่นมีเฟสตรงกัน ⇒ ดัง

N ⇒ บัพ ⇒ หักล้าง ⇒ คลื่นมีเฟสตรงกันข้าม ⇒ ค่อย

❸ 1 Loop = ระยะระหว่าง A ถึง A
= ระยะระหว่าง N ถึง N
= $\lambda / 2$



❹ การคำนวณริ้วรอยการแทรกสอดของคลื่นเสียงให้ใช้ความรู้เดียวกับเรื่องคลื่น และแค่รู้ว่า ถ้าเสียงสะท้อนกับกำแพง ให้ใช้กำหนดแหล่งกำเนิดเสมือนขึ้นมาหลังกำแพง แล้วใช้สูตรกรณีเฟสตรงข้าม(มี N_o)

6. เสียงคู่แปด และ บีตส์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความถี่ของ S_1, S_2	$f_1 f_2$	Hz
2	ความถี่บีตส์	f_b	Hz
3	ความถี่ที่ผู้ฟังได้ยิน	f_o	Hz

❶ เสียงคู่แปด คือ เสียงที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของเสียงที่สนใจ
เช่น ถ้าเสียง C (โด) มีความถี่ 256 Hz แล้วเสียงคู่แปดของเสียงโด เขียนแทนด้วย C′ จะมีความถี่เท่ากับ 2 x C = 512 Hz

❷ บีตส์ เป็นปรากฏการณ์ที่ผู้ฟังได้ยินเสียงเป็นจังหวะเนื่องจาก แหล่งกำเนิด 2 แหล่งที่มีความถี่ต่างกันเพียงเล็กน้อย(≤ 10 Hz)

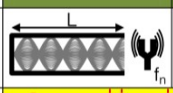
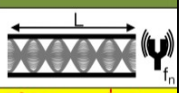
❸ มนุษย์เราจะแยกจังหวะ บีตส์ ได้ไม่เกิน 10 Hz

❹ $f_b = |f_1 - f_2|$ $\qquad f_o = \frac{f_1 + f_2}{2}$

7. การสั่นพ้องของเสียงในท่อ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความยาวท่อ	L	m
2	ความถี่มูลฐาน	f_o	Hz
3	ความถี่สั่นพ้องครั้งแรก	$f_1=f_o$	Hz
4	ความถี่สั่นพ้องครั้งที่ n	f_n	Hz
5	เลขลำดับการสั่นพ้อง	n	-
6	จำนวนบัพในท่อ	n	-
7	เลขฮามอร์นิกส์	$H.N.$	-
8	อัตราเร็วเสียง	v	m/s

❶ ท่อปลายปิด และ ปลายเปิด

	ปลายปิด	ปลายเปิด
1) ลักษณะท่อ (หรือหลอดกำทอน)		
2) ความถี่มูลฐาน (ความถี่ครั้งแรก f_1)	คือ ความถี่ต่ำสุดที่ทำให้เกิดการสั่นพ้อง	
	$f_o = v/4L$	$f_o = v/2L$
3) ความถี่การสั่นพ้องของลำดับใดๆ	$f_n = (2n-1)f_o$ เมื่อ n = 1,2,3,4,...	$f_n = nf_o$ เมื่อ n = 1,2,3,4,...
4) เลขฮาร์มอนิกส์ การสั่นพ้องครั้งที่ n	คือ จำนวนเท่าระหว่าง $f_{\text{ถัดไป}}$ กับ f_o	
	H.N. = 2n - 1	H.N. = n
5) โอเวอร์โทน	คือ เลขที่เริ่มนับถัดจากการสั่นพ้องครั้งแรก	

❷ การสั่นพ้องของลูกสูบ : ให้คิดเหมือนต่อปลายปิด แต่สลับ L ↔ f

*** การสั่นพ้องสองครั้งติดกันท่อต้องยาวต่างกัน = 1 Loop เสมอ

8. ความเข้มเสียง และระดับความเข้มเสียง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กำลังเสียง	P	watt
2	พื้นที่รับเสียง	A	m^2
3	ระยะห่างผู้ฟังกับแหล่งกำเนิด	r	m
4	ความเข้มเสียง	I	W/m^2
5	ความเข้มเสียงต่ำสุด	I_o	W/m^2
6	ระดับความเข้มเสียง	L	dB

❶ $I_{\text{มาก}} \rightarrow$ เสียงดัง (คน $I_{max} = 1\ W/m^2$)

$I_{\text{น้อย}} \rightarrow$ เสียงเบา (คน $I_o = 10^{-12}\ W/m^2$)

❷ สูตร $I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$ $\quad L = 10 \log\left(\frac{I}{I_o}\right)$

9. ผลต่างระดับความเข้มเสียง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ผลต่างระดับความเข้มเสียง	ΔL	dB

❶ สูตร $\Delta L = 10 \log\left(\frac{P,I,N}{P,I,N}\right)$ (มีค่ามาก / มีค่าน้อย)

$\Delta L = 20 \log\left(\frac{R}{R}\right)$

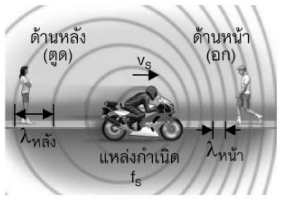
$\Delta L = L_{\text{ดัง}} - L_{\text{เบา}}$, หลัง log ต้องเอา ตัวมาก / ตัวน้อย เสมอ

10. ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วเสียง(ในอากาศ)	v	m/s
2	อัตราเร็วแหล่งกำเนิด	v_s	m/s
3	ความถี่แหล่งกำเนิด	f_s	Hz
4	ความถี่ที่ผู้ฟังได้ยิน	f_o	Hz
5	ความยาวคลื่นด้านหน้า	$\lambda_{\text{หน้า}}$	m
6	ความยาวคลื่นด้านหลัง	$\lambda_{\text{หลัง}}$	m

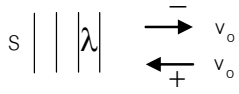
❶ ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มี ความถี่ไม่เท่ากับแหล่งกำเนิด ซึ่งอาจจะเกิดจากแหล่งกำเนิด หรือ ผู้ฟังมีการเคลื่อนที่

❷ ความยาวคลื่นที่ผู้ฟังจะได้รับ ใช้หลัก "อกเล็ก ตูดใหญ่"



$\lambda_{\text{หน้า}} = \frac{v - v_s}{f_s}$ $\quad \lambda_{\text{หลัง}} = \frac{v + v_s}{f_s}$

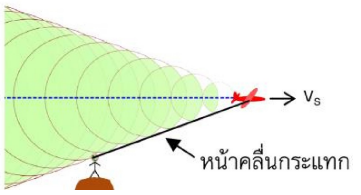
❸ ความถี่เสียงที่ผู้ฟังจะได้ยิน ใช้หลัก "ยิ่งใกล้ ยิ่งเจ็บ(เสียงแหลมแหลม)"

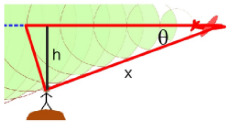


$f_o = \frac{v \pm v_o}{\lambda}$

11. คลื่นกระแทก

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็วเสียง(ในอากาศ)	v	m/s
2	อัตราเร็วแหล่งกำเนิด	v_s	m/s
3	ความสูงเพดานบิน	h	m เมตร
4	ระยะระหว่างผู้ฟังกับเครื่องบิน	x	m เมตร
5	มุมหน้าคลื่นกระแทก	θ	องศา
6	เลขมัค	$M.N.$	-





$M.N. = \frac{v_s}{v} = \frac{x}{h} = \frac{1}{\sin\theta}$

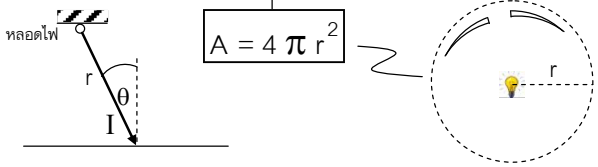
14. แสงและการมองเห็น

1. ความสว่าง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความสว่าง	E	Lux ลักซ์
2	ความเข้มการส่องสว่าง	I	cd คาเดลาร์
3	ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด	r	m เมตร
4	อัตราการให้พลังงานแสง	F	lm ลูเมน
5	พื้นที่รองรับแสง	A	m^2 ตร.เมตร
6	กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ	P	W วัตต์
7	ประสิทธิภาพเนื่องจากการใช้งาน	$\eta < 1$	-
8	ประสิทธิภาพด้านความสว่าง	$Eff.$	lm/watt ลูเมน/วัตต์
9	จำนวนหลอดไฟ	n	หลอด
10	มุมตกกระทบ		

$$E = \frac{I \cos\theta}{r^2} \qquad E = \frac{F}{A} \qquad n \times \eta \times Eff. \times P$$

$$A = 4\pi r^2$$



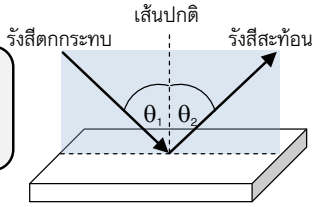
2. กระจกเงาราบ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มุมตกกระทบ,มุมสะท้อน	θ_1, θ_2	องศา
2	ระยะวัตถุ,ระยะภาพ	S,S'	cm , m
3	กำลังขยาย	m	-

❶ กฎการสะท้อนมี 2 ข้อ ดังรูป

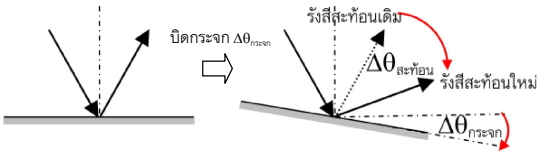
✌ รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน เส้นปกติ อยู่บนระนาบเดียวกัน

✌ มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

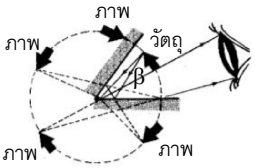


❷ การเกิดภาพ $m = \frac{S'}{S} = -1$

❸ การบิดกระจก $\Delta\theta_{สะท้อน} = 2 \cdot \Delta\theta_{กระจก}$



❹



$$N = \frac{360}{\beta} - 1$$

ตัวอย่างที่ 1 ชายคนหนึ่งสูง 1.8 เมตร ยืนอยู่หน้ากระจกเงาระนาบเพื่อต้องการเห็นจากหัวถึงเอว กระจกเงาระนาบยาวน้อยที่สุดเท่าใด โดยที่เอวสูงจากพื้น 105 เซนติเมตร

ตัวอย่างที่ 2 ชายคนหนึ่งมองต้นไม้ซึ่งอยู่ด้านหลังเข้าเป็นระยะ 5 เมตร ผ่านทางกระจกซึ่งมีความสูง 20 เซนติเมตรโดยตาของเขาอยู่ห่างจากกระจกเป็นระยะ 30 เซนติเมตร พบว่าสามารถเห็นต้นไม้ได้ทั้งต้น อยากทราบว่าต้นไม้มีความสูงกี่เมตร

3. กระจกโค้งและเลนส์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ระยะโฟกัส	f	cm , m
2	รัศมีความโค้งกระจกโค้ง	C	cm , m
3	ระยะวัตถุ,ระยะภาพ	S,S'	cm , m
4	กำลังขยาย	m	-
5	ขนาดวัตถุ,ขนาดภาพ	I,I'	cm , m

❶ เลนส์นูน คู่กับ กระจกเว้า → รวมแสง → f เป็น +
เลนส์เว้า คู่กับ กระจกนูน → กระจายแสง → f เป็น –

$$f = \frac{C}{2}$$

❷ "รวมแสง" → ได้ภาพจริง(เล็ก เท่า ใหญ่) , ไม่มีภาพ , ภาพเสมือน(ใหญ่)

"กระจายแสง" → ได้ภาพเสมือน(เล็ก) เท่านั้น

❸ ภาพจริง(ภาพที่ฉากรับได้ : หัวกลับ)
→ หน้ากระจก , หลังเลนส์ , S′ เป็น +
ภาพเสมือน(ภาพที่ฉากรับไม่ได้ : หัวตั้ง)
→ หลังกระจก , หน้าเลนส์ , S′ เป็น –

❹ สูตร $\frac{1}{f} = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'}$ $m = \frac{S'}{S} = \frac{I'}{I}$

*** ถ้าวัตถุอยู่หน้าอุปกรณ์ → S เป็น + , อยู่หลังอุปกรณ์ → S เป็น –

❺ การคำนวณอุปกรณ์ 2 ตัว : $S_1 \xrightarrow[f_1]{} S_1' = S_2 \xrightarrow[f_2]{} S_2'$

❻ รังสีขนาน : เข้าขนาน S = ∞ , ออกขนาน S′ = ∞

❼ ไม่พาราแล็กซ์ → ภาพสุดท้ายเกิดที่เดียวกับวัตถุ
→ อุปกรณ์สุดท้ายต้องสะท้อนรังสีโดยตั้งฉากกับกระจก

4. ดัชนีหักเห,การหักเห,มุมวิกฤต,สะท้อนกลับหมด

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ดัชนีหักเห	n	-
2	อัตราเร็วแสงในสุญญากาศ	c	= 3 x 10^8 m/s
3	อัตราเร็วของแสงในตัวกลาง	v	m/s
4	ดัชนีหักเห ตก.1 , ตก.2	n_1, n_2	-
5	อัตราเร็วแสงใน ตก.1,ตก.2	v_1, v_2	m/s
6	ความยาวคลื่นแสงใน ตก.1,ตก.2	λ_1, λ_2	m
7	มุมตกกระทบ,มุมหักเห	θ_1, θ_2	องศา
8	มุมวิกฤต	θ_c	องศา

❶ ดัชนีหักเห $n = \frac{c}{v}$

1) $v < c$ เสมอ 2) $n \geq 1$ เสมอ

3) v ผกผันกับ n 4) $n_{อากาศ} = n_{สุญญากาศ} = 1$

5) $n_{น้ำ} = 4/3$, $n_{แก้ว} = 3/2$

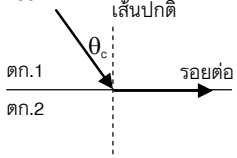
❷ การหักเหของแสง คือ การที่แสงเปลี่ยนความเร็วเมื่อเปลี่ยนตัวกลาง

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

❸ สำหรับแสง $\sin\theta$, v , λ α $\frac{1}{n}$

❹ มุมวิกฤต(θ_C) ก็คือ θ_1 ที่ทำให้ "มุมหักเห(θ_2) = 90°

$$\frac{\sin\theta_{1c}}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



เกิดขึ้นเมื่อแสงต้องเคลื่อนที่จาก $n_{มาก} \rightarrow n_{น้อย}$

❺ การสะท้อนกลับหมด เกิดขึ้นเมื่อ $\theta_1 > \theta_C$ ($\sin\theta_1 > 1$ non-sense)

1) เกิดเมื่อแสงเดินทาง $n_{มาก} \rightarrow n_{น้อย}$

2) "มุมวิกฤตของ ตก.ใด ๆ" → ตก.2 จะต้องเป็นอากาศเสมอ($n_2 = 1$)

5. ความลึกปรากฏ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความลึกจริง(รอยต่อกับวัตถุ)	ลจ	cm , m
2	ความลึกปรากฏ(รอยต่อกับภาพ)	ลป	cm , m
3	ดัชนีหักเหของผู้สังเกตุ(ตา)	$n_{ตา}$	-
4	ดัชนีหักเหของผู้ถูกสังเกตุ(วัตถุ)	$n_{วัตถุ}$	-

❶ หลักการมองเห็นวัตถุ แสง → กระทบ วัตถุ → สะท้อน ตา

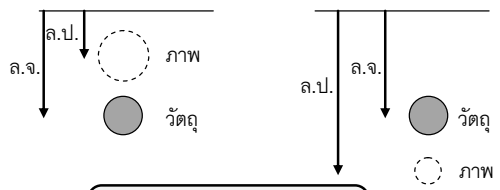
❷ $\frac{n_{ตา}}{n_{วัตถุ}} = \frac{ล.ป.}{ล.จ.}$

*** ขนาดภาพ(ของวัตถุ) α $n_{วัตถุ}$ ***

เช่น ถ้า $n_{วัตถุ} > n_{ตา}$ แล้ว ภาพจะใหญ่ขึ้น(ใกล้เข้ามา)

ถ้า $n_{วัตถุ} < n_{ตา}$ แล้ว ภาพจะเล็กลง(ไกลออกไป)

❸



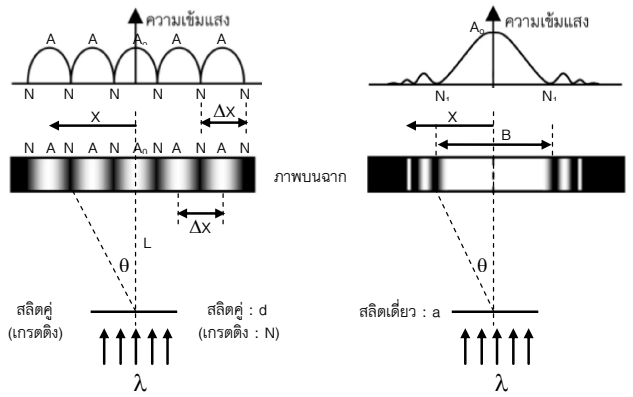
❹ การมองเอียง $\frac{n_{ตา}}{n_{วัตถุ}} \cdot \frac{\cos\theta_{ตา}}{\cos\theta_{วัตถุ}} = \frac{ล.ป.}{ล.จ.}$

*** θ_1 , θ_2 เป็นมุมตกกระทบ และ มุมหักเห ตามลำดับ

6. การเลี้ยวเบนของแสง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนช่องเกรตติง	N	ช่อง
2	ระยะห่างช่องสลิตคู่	$d=1/N$	m
3	ความกว้างสลิตเดี่ยว	a	m
4	เลขลำดับแถบสว่าง & มืด	n	=1,2,3,4,...
5	ระยะเบี่ยงเบนจากแนวกลาง	X	m
6	ระยะระหว่างสลิตกับฉาก	L	m
7	ความยาวคลื่น	λ	m
8	มุมเบี่ยงเบนจากแนวกลาง	θ	องศา
9	ความกว้างแถบสว่างกลาง (สลิตเดี่ยว)	B	m
10	ระยะห่างระหว่างแถบสว่างติดกัน หรือ มืดติดกัน(สลิตคู่,เกรตติง)	ΔX	m

❶ สลิตคู่ / เกรตติง สลิตเดี่ยว



❷ สูตร สลิตคู่ / เกรตติง(d = 1/N)

สว่าง : $d\frac{X}{L} = n\lambda$

มืด : $d\frac{X}{L} = (n - \frac{1}{2})\lambda$

สูตร สลิตเดี่ยว

มืด : $a\frac{X}{L} = n\lambda$

สว่าง : $a\frac{X}{L} = (n + \frac{1}{2})\lambda$

❸ ในกรณีหาจำนวน หรือ มุมเบี่ยงเบน เปลี่ยน ฝั่งซ้าย → $d \cdot \sin\theta$

❹ สลิตคู่ / เกรตติง $\Delta X = \frac{\lambda L}{d}$

❺ สลิตเดี่ยว $B = 2\frac{\lambda L}{a}$

❻ แนวโจทย์แถบซ้อนทับกัน ใช้หลัก $X_{อุปกรณ์ 1} = X_{อุปกรณ์ 2}$

7. สายตา

❶ สายตาสั้น → กระบอกตายาว → รังสีตัดก่อนเรตินา → ใส่แว่นเลนส์เว้า

สายตายาว → กระบอกตาสั้น → รังสีตัดเลยเรตินา → ใส่แว่นเลนส์นูน

❷ มองใกล้ ตาปกติ : $S_{ชัด}$ = 25 cm , ยาว : $S_{ชัด}$ > 25 cm , สั้น : $S_{ชัด}$ < 25 cm

มองไกล ตาปกติ : $S_{ชัด} = \infty$, ยาว : $S_{ชัด} = \infty$, สั้น : มองไม่เห็น

❸ โฟกัสแว่น : ใช้สูตรหัวข้อที่ 3 (❹)

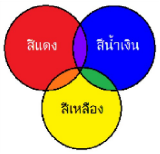
โดย S = $S_{ชัด}$ ของคนปกติ...โดยทั่วไป คือ 25 cm

S' = $S_{ชัด}$ ก่อนใส่แว่น...ติดลบเสมอ

❹ หน้าที่แว่น คือ ย้ายวัตถุที่ 25 cm ไปไว้ที่ระยะที่ตาเปล่า(ก่อนตัดแว่น)มองเห็นชัด

8. การมองเห็นสี

❶ การผสมสารสี



- แม่สี ⇒ **แดง** , **น้ำเงิน** , **เหลือง**
- ผสมสี ⇒ ด + น = ม่วง
  น + ล = เขียว , ด + ล = ส้ม
  ด + น + ล = ดำ

❷ การผสมแสง

- แม่แสง ⇒ **แดง** , **น้ำเงิน** , **เขียว**
- ผสมแสง ⇒ ด + น = แดงอมชมพู
  น + ข = ฟ้า , ด + ข = เหลือง
  ด + น + ข = ขาว

❸ จากรูป "แสงเดิมเต็ม" คือ แสงที่อยู่ตรงข้ามกันในข้อ ❷ เช่น {ข,ด} v.s. {น}

❹ การมองเห็นสีของมนุษย์

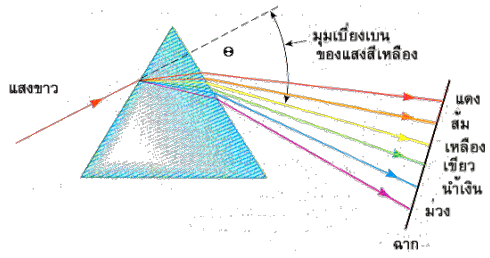
แสง ∩ วัตถุ ∩ แผ่นกรองแสง ∩ ตา(เซลล์กรวย)

ตัวอย่างที่ 1 แสงขาว วัตถุเหลือง แผ่นกรองแสงฟ้า ตาปกติ

ตัวอย่างที่ 2 แสงชมพู วัตถุขาว ตาบอดน้ำเงิน

ตัวอย่างที่ 3 แสงฟ้า แผ่นกรองแสงชมพู ตาบอดแดง

9. การกระจายของแสง



❶ แสงขาว คือ แสงที่ประกอบด้วยสี ที่เรียงตามความถี่จาก
มากไปหาน้อย คือ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง
*** ไม่ลืมนะ ความถี่มาก ความยาวคลื่นน้อย ***

❸ มุมหักเหให้เทียบจากเส้นแนวฉาก(ปกติ) แต่มุมเบี่ยงเบน
ให้เทียบจากทิศทางเดิมของแสง ... จึงได้ว่า

$\lambda_{มาก}$ → มุมหักเหมาก → มุมเบี่ยงเบนน้อย

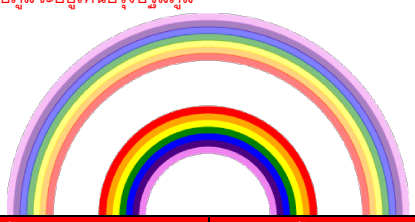
❹ แสงทุกสีมี v เท่ากัน ในตัวกลางเดียวกัน

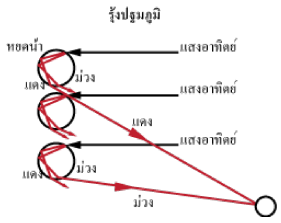
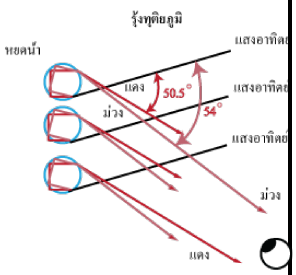
9. ปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำ

❶ จะสังเกตปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำได้ ต้องประกอบด้วย
แสง และ หยดน้ำ ในอากาศ

❷ รุ้งกินน้ำเกิดจาก สมบัติ การหักเหของแสง

❸ รุ้งกินน้ำ มี 2 แบบ คือ รุ้งปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ
โดย รุ้งทุติยภูมิจะอยู่เหนือรุ้งปฐมภูมิ



รุ้งปฐมภูมิ	รุ้งทุติยภูมิ
– แสงกระทบด้านบนหยดน้ำ – สะท้อนกลับหมดภายใน หยดน้ำ 1 ครั้ง – เห็นสีแดงอยู่บน ม่วงล่าง	– แสงกระทบด้านล่างหยดน้ำ – สะท้อนกลับหมดภายใน หยดน้ำ 2 ครั้ง – เห็นแดงอยู่ล่าง ม่วงอยู่บน
	

15. ของเหลวของไหล

1. ความดัน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความดัน	P	N/m^2,Pa
2	แรงดัน	F	N
3	พื้นที่รองรับแรง	A	m^2

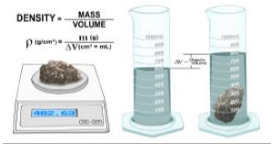
❶ ความดัน(P) คือ ขนาดของแรงที่กระทำบน 1 หน่วยพื้นที่

❷ ความดัน(P) ไม่มีทิศทาง แต่ แรงดัน(F) มีทิศทาง $\perp$ A

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

2. ความหนาแน่น / ถ่วงจำเพาะ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความหนาแน่น	ρ	kg/m^3
2	มวล	m	kg
3	ปริมาตร	V	m^3
4	ความถ่วงจำเพาะ	S	-
5	ความหนาแน่นน้ำ	ρ_w	kg/m^3



$$\rho = \frac{m}{V} \qquad S = \frac{\rho}{\rho_{น้ำ}}$$

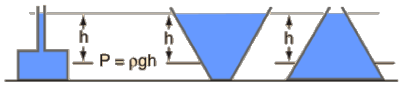
3. ความดันเกจ / ความดันสัมบูรณ์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความดันเกจ	P_g	N/m^2,Pa
2	ความหนาแน่นของเหลว	ρ	kg/m^3
3	ความลึกจากผิวของเหลว	h	m
4	ความดันบรรยากาศ	P_{atm}	N/m^2,Pa
5	ความดันสัมบูรณ์	P	N/m^2,Pa

❶ ความดันเกจ (P_g) คือ

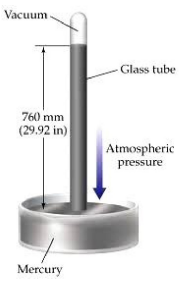
- ✍ ความดันที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลว หรือ
- ✍ ความดันที่เป็นผลต่างระหว่างความดันสัมบูรณ์กับบรรยากาศ
- ✍ ความดันที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความดัน

$$P_g = \rho g h$$



❷ ความดันบรรยากาศ(P_{atm})

- ✍ โดยทั่วไป ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 760 mmHg หรือ $\approx 10^5$ Pa
- ✍ 760 mmHg ความดันที่สามารถดันปรอทขึ้นไปได้สูง 760 mm



❸ ความดันสัมบูรณ์(P)

$$P = P_g + P_{atm}$$

4. แรงดันของเหลวกระทำต่อผิวภาชนะ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงดันของเหลวที่ก้นภาชนะ	F_v	N
2	แรงดันของเหลวด้านข้างภาชนะ	F_h	N
3	แรงดันของเหลวที่ผิวเอียงภาชนะ	F	N
4	ความลึกของเหลวในภาชนะ	h	m
5	ความกว้างของภาชนะ	L	m
6	ความหนาแน่นของเหลว	ρ	kg/m^3
7	มุมเอียงเทียบแนวราบ	θ	องศา
8	พื้นที่ผิวที่แรงกระทำ	A	m^2

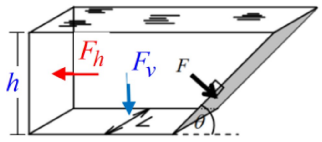
สูตรคำนวณแรงดันของเหลว

$$F = P_{เฉลี่ย}\ A$$

$$F_v = \rho g h A$$

$$F_h = \frac{1}{2} \rho g h^2 L$$

$$F = F_h \csc \theta$$



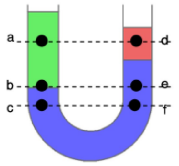
สรุป แรงกับพื้นผิวต้องตั้งฉากกันเสมอ

5. หลอดตัวยู

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความหนาแน่นของเหลว	ρ_1,ρ_2	kg/m^3
2	ความสูงของเหลว	h_1,h_2	m
3	ความดันแก๊ส	P_{gas}	N/m^2 , Pa
4	ความดันบรรยากาศ	P_{atm}	10^5 Pa

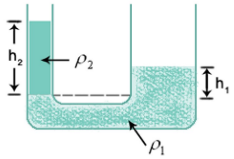
หลัก : สองตำแหน่งใดๆ ที่ระดับเดียวกัน ในของเหลวชนิดเดียวกัน ต้องมี P เท่ากัน

$$P_{ซ้าย} = P_{ขวา}$$

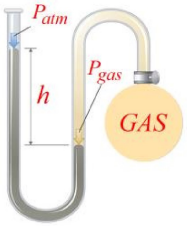


❶ เปิดโล่งทั้งสองข้าง

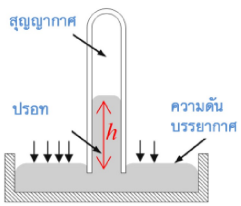
$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$



❷ มาโนมิเตอร์



❸ บารอมิเตอร์



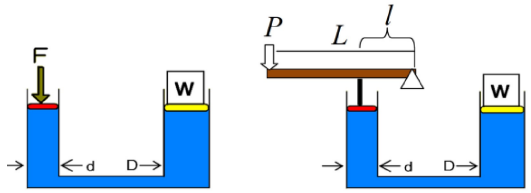
$$P_{gas} = \rho g h + P_{atm}$$

$$P_{atm} = \rho_{ปรอท} g h$$

6. กฎของพาสคาล และเครื่องอัดไฮดรอลิก

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พื้นที่ลูกสูบเล็ก,ใหญ่	a,A	cm^2,m^2
2	เส้นผ่าน ศก.ลูกสูบเล็ก,ใหญ่	d,D	cm,m
3	แรงกดที่ลูกสูบเล็ก	F	N
4	น้ำหนักกดที่ลูกสูบใหญ่	W	N
5	การได้เปรียบเชิงกล	$M.A.$	-

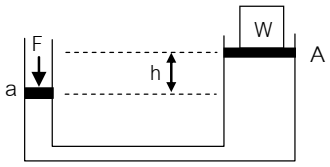
❶ แบบที่ 1 ไม่มีคานโยก ❷ แบบที่ 2 มีคานโยก



$$M.A. = \frac{W}{F} = \frac{A}{a} = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

แทน F ด้วย $\frac{PL}{\ell}$

สำหรับ ไฮดรอลิกต่างระดับใช้หลักการเดียวกันกับหลอดตัวยู



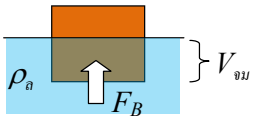
7. แรงลอยตัว

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงลอยตัว	F_B	$N^{\text{นิวตัน}}$
2	ปริมาตรวัตถุที่จม	$V_{\text{จม}}$	$m^{3\ \text{ลบ.ม}}$
3	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	g	$10\ m/s^2$
4	ความหนาแน่นของเหลว	$\rho_{\text{ล}}$	kg/m^3
5	แรงดึงเชือก	T	$N^{\text{นิวตัน}}$
6	ปริมาตรวัตถุ	$V_{\text{วัตถุ}}$	$m^{3\ \text{ลบ.ม}}$

❶ แรงลอยตัว คือ แรงที่ช่วยพยุงวัตถุไม่ให้จมลงไปในของเหลว มีทิศ ↑ เสมอ

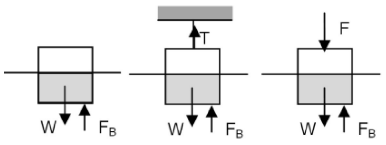
❷ สูตร

$$F_B = \rho_{\text{เหลว}}\ g\ V_{\text{จม}}$$



❸ แนวโจทย์ทั้ง 3 กรณี ใช้หลักเดียวกัน คือ ↑F = F↓

โดยต้องรู้เพิ่มเติมว่า $W_{\text{วัตถุ}} = \rho_{\text{วัตถุ}}\ g\ V_{\text{วัตถุ}}$

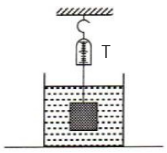


วัตถุลอยน้ำ | ชั่งวัตถุในน้ำ | เรือบรรทุก

❹ การชั่งวัตถุในน้ำ

$$T = \Delta\rho_{\text{เหลว}} \cdot g \cdot V_{\text{จม}}$$

เมื่อ $\Delta\rho = \rho_{\text{วัตถุ}} - \rho_{\text{เหลว}}$



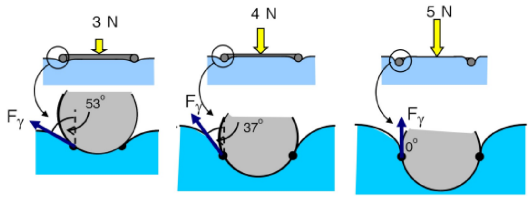
8. แรงตึงผิว

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงตึงผิว	$F\gamma$	N
2	สปส.ความตึงผิว(ค่าความตึงผิว)	γ	N/m
3	ความยาวที่ของเหลวเกาะผิวข้างวัตถุ	L	m

❶ แรงตึงผิว คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่ผิวของของเหลว ซึ่งพยายามจะยึดผิวของของเหลวเอาไว้ไม่ให้ผิวของเหลวฉีกขาด

เข็มลอยน้ำ | คลิปลอยน้ำ | แมลงบนผิวน้ำ

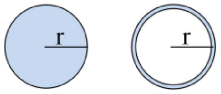
❷



*** แรงตึงผิวต้องสัมผัส(//) ทั้งผิวของเหลวและผิวของวัตถุ ***

❸ สูตรแรงตึงผิว

$$F_\gamma = \gamma\ L$$

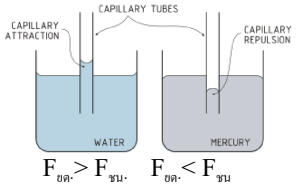


แผ่นคิดรอบเดียวแต่ห่วงต้องคูณ 2

❹ ค่าความตึงผิว (γ) ผกผันกับ อุณหภูมิของเหลว

❺ แรงเชื่อมแน่น(โคฮีชั่น) คือ → แรงยึดระหว่างอนุภาคชนิดเดียวกัน

แรงยึดติด(แอดฮีชั่น) คือ → แรงยึดระหว่างอนุภาคต่างชนิดกัน



$F_{\text{ยด.}} > F_{\text{ชน.}}$ $F_{\text{ยด.}} < F_{\text{ชน}}$

❻ การซึมตามรูเล็ก

รูเล็ก ระดับของเหลวจะสูงกว่ารูใหญ่

9. แรงหนืด

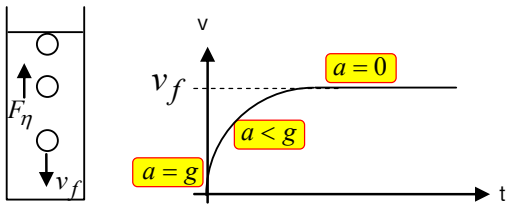
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	รัศมีลูกเหล็ก	r	m
2	สปส.ความหนืด	η	
3	อัตราเร็ว	v	m/s
4	แรงหนืด	F_η	N
5	ความหนาแน่นลูกเหล็ก	$\rho_{\text{วัตถุ}}$	kg/m^3
6	ความหนาแน่นของเหลว	$\rho_{\text{เหลว}}$	kg/m^3
7	อัตราเร็วสุดท้าย	v_f	m/s

❶ แรงหนืด เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลว

❷ สูตร

$$F_\eta = 6\ \pi\ \eta\ r\ v$$

❸ การทดลองปล่อยลูกเหล็ก



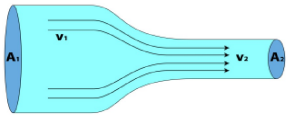
❹ หาความ v_f ต้องใช้หลัก สมดุลแรงแนวดิ่ง

10. อัตราการไหลและสมการความต่อเนื่อง

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราการไหล	Q	m^3/sec
2	อัตราเร็ว	v	m/s
3	พื้นที่หน้าตัด	A	m^2
4	ปริมาตร	V	m^3
5	เวลา	t	Sec

❶ อัตราการไหล $Q = \frac{V}{t} = v\,A$

❷ สมการความต่อเนื่อง หลัก : อัตราการไหลเข้า = อัตราการไหลออก



$$A_1\,v_1 = A_2\,v_2$$

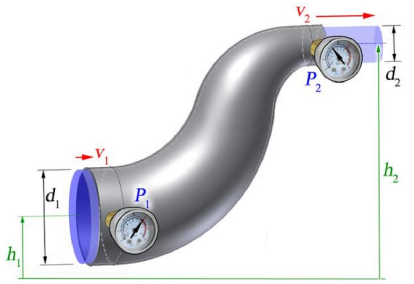
***เน้น...สมการความต่อเนื่องทำให้เราทราบว่า v α 1/A
คือ ท่อเล็ก ของเหลวมีความเร็วสูง

11. สมการแบร์นูลี

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความดัน	P	N/m^2
2	ความเร็ว	v	m/s
3	ความสูง	h	m
4	ความหนาแน่น	ρ	kg/m^3
5	พื้นที่ปีกเครื่องบิน	A	m^2
6	แรงยกปีกเครื่องบิน	ΔF	N

❶ ของไหลอุดมคติ...ต้อง...
1. ไหลอย่างสม่ำเสมอ
2. ไหลโดยไม่หมุน
3. ไหลโดยไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด
4. ไม่สามารถอัด(หด)ตัวได้

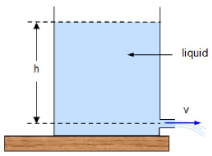
❷ สมการแบร์นูลี "ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตร และพลังงานศักย์ต่อปริมาตร ณ.ตำแหน่งใดๆ มีค่าคงตัว"



$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

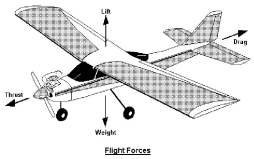
***เน้น...สมการแบร์นูลีทำให้เราทราบว่า P α 1 / v ***
คือ ความเร็วช้า ความดันสูง

❸ อัตราเร็วน้ำพุ่งออกจากรู



$$v = \sqrt{2\,g\,h}$$

❹ แรงยกปีกเครื่องบิน



$$\Delta F = \frac{1}{2}\rho_{air}\left(v_{บน}^2 - v_{ล่าง}^2\right)A$$

16. ความร้อน

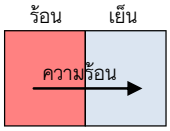
1. อุณหภูมิ และ ความร้อน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อุณหภูมิ	t	$^{\circ}C$ องศาเซลเซียส
2	อุณหภูมิสัมบูรณ์	T	K เคลวิน
3	อุณหภูมิฟาเรนไฮท์	F	F ฟาเรนไฮท์
4	อุณหภูมิโรเมอร์	R	R โรเมอร์
5	ความร้อน	Q	cal แคลอรี , J จูล

❶ **อุณหภูมิ** คือ **ค่าเฉลี่ย** ของ **พลังงานจลน์** ของอนุภาคในสสาร

❷ $T = 273 + t$

❸ **ความร้อน(Q)** คือ **พลังงาน** ซึ่งจะถ่ายเทระหว่างสสาร อันเนื่องจาก **ความแตกต่างของอุณหภูมิ(ΔT)**



*** ระวัง Q ไม่ใช่ T แต่ เกี่ยวข้องกัน ***

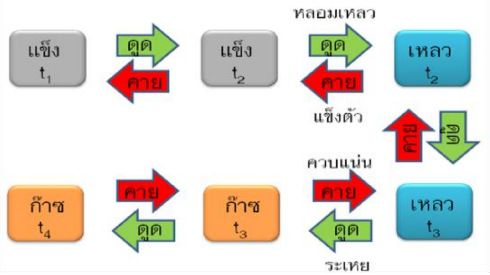
ลองคิดดูนะ..."ความร้อนมากว่าไม่จำเป็นต้องร้อนกว่าม้ย ?"

❹ **ความร้อนถ่ายเทจาก** $T_{สูง} \rightarrow T_{ต่ำ}$

❺ 1 cal = 4.2 J

❼ **การเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ** $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{R}{4} = \frac{K-273}{5}$

2. ความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงของสสาร



❶ ผลของความร้อนต่อวัตถุ คือ ทำให้วัตถุเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือไม่ก็เปลี่ยนสถานะ อย่างใดอย่างหนึ่ง เปลี่ยนทั้งสองไม่ได้

❷ ถ้าเปลี่ยน t ก็จะไม่เปลี่ยนสถานะ ถ้าเปลี่ยนสถานะ ก็จะไม่เปลี่ยน t

❸ ลำดับการเปลี่ยนสถานะ **ดูดความร้อน : แข็ง → เหลว → ก๊าซ**

คายความร้อน : ก๊าซ → เหลว → แข็ง

3. สูตรคำนวณความร้อน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความร้อนในการเปลี่ยนอุณหภูมิ	Q_t	J , cal
2	ความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ...	Q_L	J , cal
3	มวล	m	kg , g
4	ความจุความร้อนจำเพาะของ...	$c_{สถานะ}$	J/(kg.□) , cal/(g.□)
5	ความจุความร้อน	C	J/□ , cal/□
6	ความร้อนแฝงจำเพาะในการ...	L_m, L_v	J/kg , cal/g
7	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	Δt	°C หรือ K ก็ได้

1) □ หมายถึง ใช้ °C หรือ K ก็ได้ตามใจ ตามโจทย์ ตาม choice

2) จะใช้ J หรือ cal ให้สังเกตจากโจทย์ ให้รู้ว่า J คู่กับ kg , cal คู่กับ g

3) ตัวห้อย m = หลอมเหลว , v = ระเหย

❶ $Q_t = m\,c\,\Delta t$ หรือ $Q_t = C\,\Delta t$

*** Δt ต้องแทนค่าด้วย + เสมอ เพราะ $\Delta t = t_{สูง} - t_{ต่ำ}$

❷ $Q_{Lm} = m\,L_m$ $Q_{Lv} = m\,L_v$

❸ ค่าคงที่ความร้อนของน้ำ และน้ำแข็งที่ควรจดจำ

$c_{น้ำแข็ง}$ = 0.5 cal/g.K หรือ ≈ 2100 J/kg.K

cwater = 1.0 cal/g.K หรือ ≈ 4200 J/kg.K

Lหลอม = 80 cal/kg หรือ ≈ 336×10^3 J/kg

Lระเหย ≈ 540 cal/kg หรือ ≈ 2268×10^3 J/kg

4. การเปลี่ยนแปลง(ถ่ายเท) พลังงาน(ความร้อน)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานศักย์โน้มถ่วง	E_P	J จูล
2	พลังงานจลน์	E_k	J จูล
3	พลังงานไฟฟ้า	E	J จูล
4	พลังงานความร้อน	Q	J จูล
5	ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน	η	-
6	พลังงานตอนแรก	E_1	J
7	พลังงานตอนหลัง	E_2	J
8	พลังงานสูญเสีย	$E_{เสีย}$	J

❶ พลังงานมีหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบหน่วยเดียวกัน คือ J

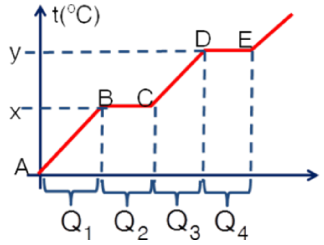
❷ พลังงานแต่ละรูปแบบสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นกันและกันได้

❸ $E_P = m\,g\,h$ $E_k = \frac{1}{2}\,m\,v^2$ $E_{ไฟฟ้า} = P\,t$

$P = \frac{E_{ไฟฟ้า}}{t} = V\,I = I^2\,R = \frac{V^2}{R}$

❹ $E_1 - E_{เสีย} = E_2$ หรือ $\eta E_1 = E_2$

5. กราฟพลังงานความร้อนของสสาร



เส้นเอียง เปลี่ยนอุณหภูมิ

เส้นราบ เปลี่ยนสถานะ

❶ โดยทั่วไป **แกน x เป็น ความร้อน(Q)** , **y เป็น อุณหภูมิ(t)**

❷ Q_1 คือ ความร้อนในการเปลี่ยนอุณหภูมิของของแข็ง

Q_3 คือ ความร้อนในการเปลี่ยนอุณหภูมิของของเหลว

Q_2 คือ ความร้อนในการหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ x

Q_4 คือ ความร้อนในการระเหย ที่อุณหภูมิ y

❸ เปลี่ยนแกน x จาก Q ให้เป็น t ด้วยสูตร **Q = Pt**

6. อุณหภูมิผสม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	Δt	°C หรือ K ก็ได้
2	อุณหภูมิผสม	$t_{ผสม}$	°C หรือ K ก็ได้

ตัวอย่างที่ 1 ใส่น้ำแข็ง 50 กรัม อุณหภูมิ 0 °C ลงในน้ำ 200 กรัมที่อุณหภูมิ 30 °C จะได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่าใด (ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งเท่ากับ 80 แคลอรี่ต่อกรัม และความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 แคลอรีต่อกรัม.เคลวิน)

1. 0 °C
2. 4 °C
3. 8 °C
4. 10 °C

ตัวอย่างที่ 2 น้ำแข็งอุณหภูมิ −10 °C มีความจุความร้อนจำเพาะ 2.10 กิโลจูล/(กิโลกรัม·เคลวิน) และมีความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลว 333 กิโลจูล/กิโลกรัม ถ้าเอาน้ำแข็งนี้ 200 กรัม ใส่ลงในกระป๋องคาลอรี่มิเตอร์ที่มีน้ำบรรจุอยู่ 550 กรัม และอุณหภูมิ 30 °C จงหาอุณหภูมิสุดท้ายของของผสมเป็น °C เมื่อกระป๋องมีมวล 125 กรัม และความจุความร้อนจำเพาะ 0.40 กิโลจูล/(กิโลกรัม·เคลวิน)

1. 0
2. 1.3
3. 1.8
4. 2.6

ตัวอย่างที่ 3 ท่อส่งน้ำสองท่อ A และ B มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในท่อเป็น d_A = 0.1 m และ d_B = 0.25 m และความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อเป็น V_A = 2 m/s และ V_B = 1.0 m/s ตามลำดับ ถ้าอุณหภูมิของน้ำในท่อเป็น t_A = 30 °C และ t_B = 80 °C ตามลำดับจงหาอุณหภูมิของน้ำที่ผสมกันในท่อรวม

1. 58.9 °C
2. 67.9 °C
3. 47.9 °C
4. 69.9 °C

17. แก๊สและทฤษฎีจลน์

1. แก๊สอุดมคติ และ กฎของแก๊ส

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความดันสัมบูรณ์	P	N/m^2,Pa
2	ปริมาตร	V	m^3
3	โมล	n	mol
4	ค่าคงที่แก๊ส	R	8.3 J/mol.K
5	ค่าคงที่บ็อลทซ์มัน	k_B	1.38×10^{-23} $m^2.kg.s^{-2}K^{-1}$
6	อุณหภูมิสัมบูรณ์	T	K
7	มวล	m	g,kg
8	มวลโมเลกุล	M	g/mol
9	ความหนาแน่น	ρ	kg/m^3
10	จำนวนโมเลกุล	N	โมเลกุล

❶ สมมุติฐานของแก๊สอุดมคติ...โมเลกุลแก๊ส
- เคลื่อนที่อิสระ
- ขนาดเล็กมาก (ไม่มีปริมาตร)
- ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุล
- มีพฤติกรรมตามสูตร: PV = nRT
- มีความหนาแน่นต่ำ

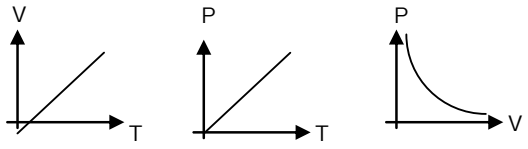
❷ แก๊สในธรรมชาติ = **แก๊สอุดมคติ** เมื่อ **ความดันต่ำ และอุณหภูมิสูง**

❸ สูตรของแก๊สอุอมคติ $PV = nRT$ หรือ $PV = Nk_BT$

$n = \frac{m}{M}$ <--- สูตรนี้ใช้ m หน่วย กรัม และ M หน่วย กรัม/โมล

❹ $\rho = \frac{PM}{RT}$ <--- สูตรนี้ใช้ m หน่วย กิโลกรัม M หน่วย กิโลกรัม/โมล

❺ กราฟความสัมพันธ์ตามกฎของแก๊ส $PV = nRT$



Charles' law (P คงที่) | Gay–Lussac's law (V คงที่) | Boyle's Law (T คงที่)

2. การเปลี่ยนสภาวะของแก๊ส

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ตัวห้อยสภาวะแรก,หลัง	1,2	-

❶ กรณีไม่มีการรั่ว (n คงที่) $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

❷ กรณีมีการรั่วหรือเติมแก๊ส (n ไม่คงที่) $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$ (m , n , N)

❸ จากข้อ ❷ ความหนาแน่นของแก๊สจะเปลี่ยนไป $\frac{P_1}{\rho_1T_1} = \frac{P_2}{\rho_2T_2}$

***สำคัญมาก ทุกสูตรต้องใช้ P เป็น ความดันสัมบูรณ์(หน่วย ตามใจ) และ T เป็นเคลวิน สำหรับตัวอื่นหน่วยอะไรก็ได้ขอให้ทั้งสองข้างหน่วยเดียวกันก็พอ

3. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานจลน์เฉลี่ย	$\bar{E}_k$	J
2	อัตราเร็วของรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย	v_{rms}	m/s
3	พลังงานจลน์รวม	E_k	J
4	พลังงานภายใน	U	J
5	มวลของแก๊ส 1 โมเลกุล	m_0	kg
6	จำนวนโมเลกุล	N	โมเลกุล

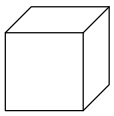
❶ ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส พยายามจะอธิบายว่า "ความดันของแก๊ส(P) เกิดจากการชนระหว่างแก๊สกับผนังภาชนะ" ... P = F/A

❷ ภาพรวม "สูตร"

$U = E_k + B.E. = \frac{3}{2}PV = \frac{3}{2}nRT = N\bar{E}_k$

❸ อัตราเร็วของรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย

$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$



❹ ตอบให้ได้ว่า....ปัจจัยใดมีผลต่อ v_{rms} , E_k และ $\bar{E}_k$

ตัวอย่าง แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุภายในภาชนะปิดที่มีความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 15 ° C มีความหนาแน่น 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่ออัดแก๊สนี้ให้มีปริมาตรน้อยลงและมีความดัน 3 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100 ° C จงหาอัตราเร็วของรากที่สองกำลังสองเฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊สนั้นในหน่วย เมตรต่อวินาที
(1 บรรยากาศ = 1.01×10^5 N/m^2)

1. 4.9×10^2
2. 5.4×10^2
3. 5.7×10^2
4. 8.6×10^2

4. อัตราเร็วของรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของอัตราเร็ว	v_{rms}	m/s
2	จำนวนโมเลกุล	N	โมเลกุล
3	อัตราเร็วแต่ละโมเลกุล	v	m/s

$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + ... + v_N^2}{N}}$

ตัวอย่าง จงหาอัตราเร็วเฉลี่ย และ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง

อัตราเร็วโมเลกุล (เมตร/วินาที)	3	4	5	2
จำนวนโมเลกุล	3	1	2	4

5. อุณหภูมิผสม และ ความดันผสม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อุณหภูมผสม	$T_{ผสม}$, $t_{ผสม}$	K , °C
2	ความดันผสม	$P_{ผสม}$	อะไรก็ได้
3	ปริมาตรหลังผสม	$V_{ผสม}$	อะไรก็ได้
3	จำนวนโมเลกุล	N	โมเลกุล
4	จำนวนโมล	n	โมล
5	อุณหภูมิ	T,t	K , °C
6	ความดัน	P	อะไรก็ได้

❶ $$P_{ผสม} = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_{ผสม}}$$

❷ $$T_{ผสม} = \frac{n_1 T_1 + n_2 T_2}{n_1 + n_2}$$

❸ $$P_{ผสม} V_{ผสม} = n_{รวม} R T_{ผสม}$$

18. กฎข้อที่ 1 เทอร์โมไดนามิกส์

1. การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของแก๊ส

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานจลน์	E_k	J
2	ความดันสัมบูรณ์	P	Pa
3	ปริมาตร	V	m^3
4	จำนวนโมล	n	mol
5	มวลโมเลกุล	N	โมเลกุล
6	อุณหภูมิสัมบูรณ์	T	K
7	พลังงานภายใน	U	J
8	การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน	ΔU	J
9	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	ΔT	K , $^{\circ}C$
10	ผลต่าง PV	ΔPV	J
11	เลขห้อยสภาวะที่ 1 และ 2	$1,2$	-

❶ พลังงานภายใน $U = E_k = \frac{3}{2}PV$

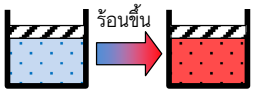
❷ การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบ .... ระบบ หมายถึง แก๊ส

$$\Delta U = \frac{3}{2}(\Delta PV) = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

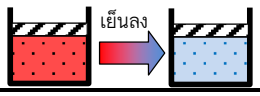
เมื่อ $\Delta T = T_2 - T_1$

$\Delta PV = P_2V_2 - P_1V_1$

❸ เครื่องหมาย ΔU



ΔU เป็น + เพราะ $T_2 > T_1$ "พลังงานภายในเพิ่มขึ้น"



ΔU เป็น - เพราะ $T_2 < T_1$ "พลังงานภายในลดลง"

2. งานที่ทำโดยระบบ(แก๊ส)

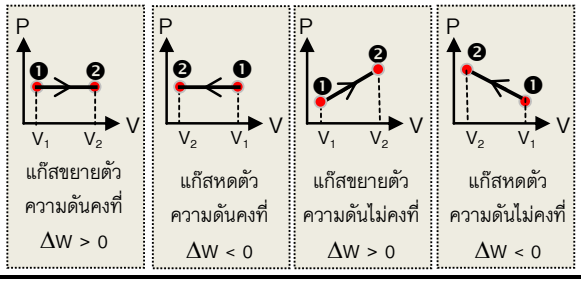
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ปริมาตร(ภาชนะ)	V	m^3
2	ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง	ΔV	m^3
3	งานที่ทำโดยแก๊ส	ΔW	J
4	ความดัน	P	N/m^2 , Pa
5	ความดันเฉลี่ย	$P_{เฉลี่ย}$	N/m^2 , Pa

❶ งานที่ทำโดยแก๊ส $\Delta W = \overline{P}\ \Delta V$ เมื่อ $\Delta V = V_2 - V_1$

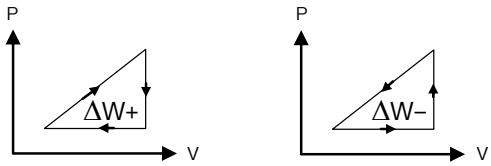
❷ แก๊สขยายตัว ΔW เป็น + แก๊สหดตัว ΔW เป็น -

❸ การหา ΔW จากกราฟ ความดัน(P) - ปริมาตร(V)

ΔW = พื้นใต้กราฟ P-V ขยายตัวเป็น + หดตัวเป็น -



❹ กราฟวัฏจักร P - V



3. กฎข้อ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน	ΔU	J
2	งานที่ทำโดยระบบ	ΔW	J
3	การเปลี่ยนแปลงความร้อน	ΔQ	J

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

ระบบดูดความร้อน $\Delta Q > 0$, ระบบคายความร้อน $\Delta Q < 0$

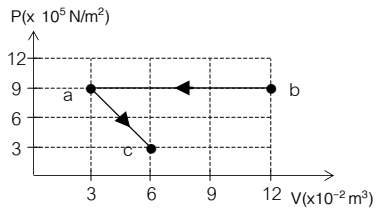
ตัวอย่างที่ 1 แก๊สจำนวน 3 โมล บรรจุในกระบอกสูบที่ความดัน 2 บรรยากาศ หาก
1. ระบบคายความร้อน 2400 จูล
2. แก๊สหดตัว 30 ลิตร

แล้วอุณหภูมิของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ตัวอย่างที่ 2 แก๊สจำนวน 1 โมล บรรจุในกระบอกสูบที่ความดัน 2 บรรยากาศ หาก
1. อุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น 60 องศาเซลเซียส
2. แก๊สหดตัว 20 ลิตร

การถ่ายเทความร้อนต่อระบบนี้เป็นเช่นไร

ตัวอย่างที่ 3 จงหาปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของแก๊สตามเส้นทาง b --> a --> c



19. ไฟฟ้าสถิต

1. ประจุไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ประจุไฟฟ้า	Q,q	$C^{คูลอมบ์}$
2	ประจุอิเล็กตรอน	e	$-1.6 \times 10^{-19}\ C^{คูลอมบ์}$
3	ประจุโปรตอน	p	$+1.6 \times 10^{-19}\ C^{คูลอมบ์}$
4	จำนวนโปรตอน	n_p	อนุภาค
5	จำนวนอิเล็กตรอน	n_e	อนุภาค
6	ผลต่างจำนวนโปรตอนกับอิเล็กฯ	N	อนุภาค

❶ ในธรรมชาติอะตอมจะประกอบด้วย 3 อนุภาค คือ

- อิเล็กตรอน(e^-) $\Rightarrow$ $e^- = -1.6 \times 10^{-19}$ C
- โปรตอน(p^+) $\Rightarrow$ $p^+ = 1.6 \times 10^{-19}$ C
- นิวตรอน(n) $\Rightarrow$ n เป็นกลางทางไฟฟ้า

❷ "ในธรรมชาติ อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า" หมายถึง

- จำนวนอิเล็กตรอน เท่ากับ จำนวนโปรตอน หรือ
- อะตอมนั้นมีประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์(Q = 0)

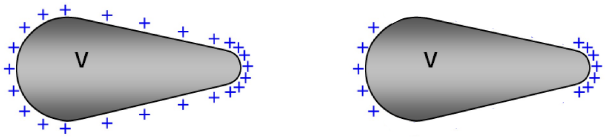
❹ สูตร $Q = N e$ Q เป็น + เมื่อ $n_p > n_e$, Q เป็น – เมื่อ $n_e > n_p$

❺ e^- เคลื่อนที่ได้ จากศักย์ไฟฟ้าต่ำ → สูง แต่โปรตอนเคลื่อนที่ไม่ได้เด็ดขาด

2. ตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า

❶ **ตัวนำ** หมายถึง วัตถุที่ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านได้
หรือ **กระจายไปตามผิว** ของมันได้อย่างง่ายดาย แต่จะ **กระจุกตัวที่ปลายแหลม**

❷ **ฉนวน** หมายถึง วัตถุที่ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านไม่ได้ ให้ประจุกับฉนวน บริเวณใด ประจุจะ **ออกัน** อยู่ตรงนั้นไม่กระจายไปที่ไหน



3. การทำให้วัตถุมีสภาพทางไฟฟ้า

วิธีที่ 1 การขัดถูระหว่างฉนวนต่างชนิดกัน

❶ ข้อเท็จจริงสำหรับการทำให้วัตถุเกิดประจุโดยการถู

- วัตถุที่จะนำมาถูจะต้อง ต่างชนิดกัน
- เมื่อถูเสร็จวัตถุทั้งสอง เกิดประจุชนิดตรงกันข้าม จึงเกิดแรงดูดต่อกันเสมอ
- ด้ามจับต้องมีสภาพเป็น ฉนวนไฟฟ้า เพื่อป้องกันการถ่ายเทอิเล็กตรอน

แท่งอำพัน เป็น –
ผ้าขนสัตว์ เป็น +

แท่งแก้ว เป็น +
ผ้าไหม เป็น –

วิธีที่ 2 การถ่ายเทประจุระหว่างตัวนำ

ข้อเท็จจริงควรทราบ

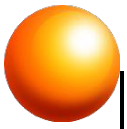
- วัตถุที่จะนำมาถ่ายเทประจุกัน ต้องเป็นตัวนำเท่านั้น ที่มี $V_{ผิว}$ ต่างกัน
- การถ่ายเท = เชื่อมต่อด้วยลวด หรือ สัมผัสกันโดยตรง
- ขณะถ่ายเท : e^- จะเคลื่อนที่จาก ตัวนำที่มี $V_{ผิว}$ ต่ำ → สูง เสมอ
- เมื่อสิ้นสุดการถ่ายเท ตน.ทั้งสองจะมี $V_{ผิว}$ เท่ากันเสมอ ทำให้มีประจุชนิดเดียวกัน ส่งผลให้เกิด แรงผลัก ต่อกันเสมอ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ประจุก่อนถ่ายเท	Q_1,Q_2	$C^{คูลอมบ์}$,?
2	รัศมี	R_1,R_2	$m^{เมตร}$,?
3	ประจุไฟฟ้ารวม	$Q_{รวม}$	$C^{คูลอมบ์}$,?
4	รัศมีรวม	$R_{รวม}$	$m^{เมตร}$,?
5	ประจุหลังถ่ายเท	Q'_1,Q'_2	$C^{คูลอมบ์}$,?

❶ $Q'_1 = \frac{Q_{รวม}R_1}{R_{รวม}}$ $Q'_2 = \frac{Q_{รวม}R_2}{R_{รวม}}$

❷ อนุรักษ์ประจุไฟฟ้า $Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$

วิธีที่ 3 การเหนี่ยวนำ



ข้อเท็จจริงควรทราบ

- ผิวใกล้ จะมี ประจุชนิดตรงข้าม กับตัวเหนี่ยวนำ เสมอ
  ผิวไกล จะมี ประจุชนิดตรงกัน กับตัวเหนี่ยวนำ เสมอ
- ผิวใกล้เกิดแรงดูด ผิวไกลเกิดแรงผลัก
- แรงดูด > แรงผลัก เสมอ
- ตัวเหนี่ยวนำและตัวถูกเหนี่ยวนำจะดูดกันเสมอ

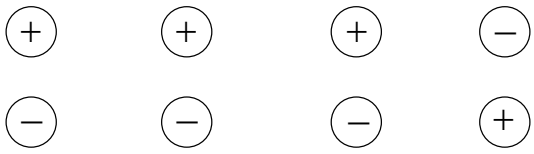
ถ้าต้องการรู้โดยละเอียดให้ศึกษาเนื้อหาเต็มเล่มใหญ่นะครับ

4. กฎคูลอมบ์ และแรงไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงไฟฟ้าระหว่างประจุ	F_E	$N^{นิวตัน}$
2	ค่าคงที่คูลอมบ์(=9×10^9)	k	$N.m^2/C^2$
3	ประจุไฟฟ้า	q_1,q_2	$C^{คูลอมบ์}$
4	ระยะห่างระหว่างประจุ	r	$m^{เมตร}$

❶ $F_E = \frac{k\,Q_1\,Q_2}{r^2}$ r ต้องวัดระหว่าง ศก. ถึง ศก. นะครับ
สูตรนี้ไม่ต้องคิดเครื่องหมายประจุนะครับ

❷ ประจุชนิดเดียวกันจะเกิดแรงผลัก แต่ถ้า ประจุต่างชนิดกันจะเกิดแรงดูด

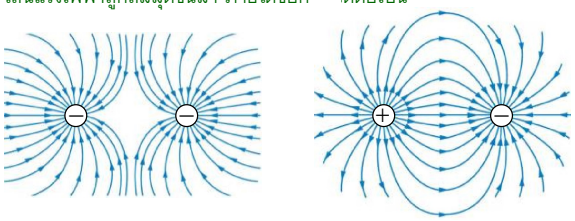


❸ อาศัยความรู้บทนำ มองความสัมพันธ์ให้ออกนะครับ

❹ แรงไฟฟ้า เป็นแรงซึ่งเป็นไปตามกฎข้อ 3 ของนิวตัน

5. เส้นแรงไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า

❶ เส้นแรงไฟฟ้าถูกสมมุติขึ้นมา ภายใต้ข้อกำหนดต่อไปนี้



⇒ **เส้นแรงไฟฟ้ามีทิศ พุ่งออกจากประจุบวก หรือ พุ่งเข้าประจุลบ**

⇒ **เส้นแรงไฟฟ้าแต่ละเส้น ต้องไม่ตัดกันเด็ดขาด**

⇒ **เส้นแรงไฟฟ้าต้องมีทิศ ตั้งฉากกับผิวตัวนำเสมอ**

⇒ **เส้นแรงไฟฟ้าจะมี ความหนาแน่นมากบริเวณใกล้ผิวตัวนำ ยิ่งห่างยิ่งลด**

❷ **สนามไฟฟ้า** มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

⇒ **สนามไฟฟ้า** เป็นปริมาณ ***เวคเตอร์*** จึงมีทั้ง **ขนาด** และ **ทิศทางเดียวกันกับเส้นแรงไฟฟ้า**

⇒ **สนามไฟฟ้า คือ ปริมาณที่บ่งบอกถึงความเข้มของเส้นแรงไฟฟ้า**

6. สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E	$N/C^{\text{นิวตัน/คูลอมบ์}}$
2	ประจุไฟฟ้า	q	$C^{\text{คูลอมบ์}}$
3	ระยะห่างจาก ศก.ประจุ	r	$m^{\text{เมตร}}$
4	ค่าคงที่คูลอมบ์(=9x10^9)	k	$N.m^2/C^2$

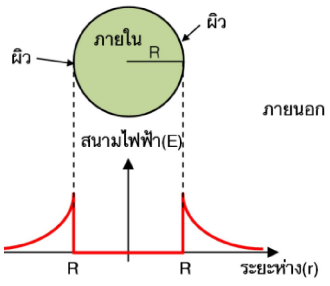
❶ $E = \frac{kq}{r^2}$ r ต้องวัดระหว่าง ศก. ถึง ศก. นะครับ สูตรนี้ไม่ต้องคิดเครื่องหมายประจุนะครับ

❷ อาศัยความรู้บทนำ มองความสัมพันธ์ให้ออกนะครับ

7. สนามไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำทรงกรมรัศมี R

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E	$N/C^{\text{นิวตัน/คูลอมบ์}}$
2	ประจุไฟฟ้า	Q	$C^{\text{คูลอมบ์}}$
3	ระยะห่างจาก ศก.ประจุ	r	$m^{\text{เมตร}}$
4	รัศมีทรงกลม	R	m
5	ค่าคงที่คูลอมบ์(=9x10^9)	k	$N.m^2/C^2$

❶ การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม



❷ $E_{\text{ภายใน}} = 0$ จุดสะเทิน

$E_{\text{ผิว}} = \frac{kQ}{R^2}$

$E_{\text{นอก}} = \frac{kQ}{r^2}$

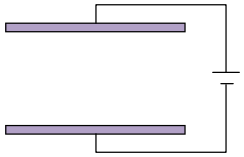
$E_{\infty} = 0$ จุดสะเทิน

r เป็นระยะที่วัดจากจุด ศก. นะครับและไม่ต้องคิดเครื่องหมายประจุ

8. สนามไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำคู่ขนาน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E	$N/C^{\text{นิวตัน/คูลอมบ์}}$
2	ความต่างศักย์ไฟฟ้า	V	$V^{\text{โวลต์}}$
3	ระยะห่างระหว่างแผ่นขนาน	d	$m^{\text{เมตร}}$

❶ $E = \frac{V}{d}$



❷ สนามไฟฟ้า E มีทิศ พุ่งออกจากแผ่นตัวนำประจุบวกไปยังแผ่นตัวนำประจุลบ

❸ **ความเข้มสนามไฟฟ้า E ในตัวนำคู่ขนาน มีค่าสม่ำเสมอ**

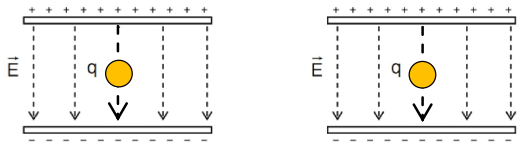
9. ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E	$N/C^{\text{นิวตัน/คูลอมบ์}}$
2	แรงไฟฟ้า	F_E	$N^{\text{นิวตัน}}$
3	ประจุทดสอบ	q	$C^{\text{คูลอมบ์}}$

❶ $F_E = qE$

❷ ถ้า **q เป็นบวก แล้ว F_E มีทิศเดียวกับ E**

q เป็นลบ แล้ว F_E มีทิศตรงข้ามกับ E



10. การเคลื่อนที่ของประจุในสนามไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E	$N/C^{\text{นิวตัน/คูลอมบ์}}$
2	แรงไฟฟ้า	F_E	$N^{\text{นิวตัน}}$
3	ประจุทดสอบ	q	$C^{\text{คูลอมบ์}}$
4	มวล	m	$kg^{\text{กิโลกรัม}}$
5	ความเร่งสนามโน้มถ่วง	a	m/s^2

ตัวอย่างที่ 1 **[ลอยนิ่ง]** แผ่นโลหะคู่ขนานวางในแนวระดับห่างกัน 5 เซนติเมตร มีหยดน้ำมันมวล 14.4 x 10^{-12} กรัม มีประจุ 4.8 x 10^{-19} คูลอมบ์ ลอยนิ่งระหว่างแผ่นคู่ขนาน หากกำหนดให้แผ่นตัวนำด้านล่างมีศักย์ไฟฟ้าเป็น 6000 โวลต์ จงหาศักย์ไฟฟ้าของแผ่นตัวนำด้านบน

ตัวอย่างที่ 2 **[มีความเร่ง]** ชายคนหนึ่งมวล 50 กิโลกรัม ยืนอยู่ในห้องที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 1000 นิวตัน/คูลอมบ์ มีทิศทางพุ่งขึ้นสู่เพดานในแนวดิ่ง อยากทราบว่าชายคนนี้จะลอยตัวขึ้นด้วยอัตราเร่งเท่าใด หากเขาสามารถทำตัวเขาเองมีประจุเท่ากับ 0.75
คูลอมบ์

11. จุดสะเทิน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E_1, E_2	$N/C^{\text{นิวตัน/คูลอมบ์}}$
2	ประจุไฟฟ้า	q_1, q_2	$C^{\text{คูลอมบ์}}$
3	ระยะห่างจากประจุ	r_1, r_2	$m^{\text{เมตร}}$
4	ค่าคงที่คูลอมบ์(=9x10^9)	k	$N.m^2/C^2$

❶ **จุดสะเทิน** คือ **จุดที่สนามไฟฟ้าลัพธ์(สนามไฟฟ้าหักล้างกัน) มีค่าเป็นศูนย์**

❷ ณ. **จุดสะเทิน** จะไม่มีอำนาจทางไฟฟ้า **จึงไม่เกิดแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุ**

❸ จุดสะเทินที่เกิดจากประจุ 2 ตัว

- ถ้าประจุ **ชนิดเดียวกัน** จุดสะเทินจะอยู่ **ระหว่าง ใกล้ตัวน้อย**
- ถ้าประจุ **ต่างชนิดกัน** จุดสะเทินจะอยู่ **ด้านข้าง ใกล้ตัวน้อย**

ตัวอย่างที่ 1 จุดประจุขนาด +1 ไมโครคูลอมบ์ และ +4 ไมโครคูลอมบ์ วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 6 เซนติเมตร ตำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จะอยู่ห่างจากจุดประจุ +1 ไมโครคูลอมบ์ กี่เซนติเมตร

ตัวอย่างที่ 2 จุดประจุขนาด +1 ไมโครคูลอมบ์ และ −9 ไมโครคูลอมบ์ วางไว้ห่างกันเป็นระยะ 12 เซนติเมตร ตำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จะอยู่ห่างจากจุดประจุ −9 ไมโครคูลอมบ์ กี่เซนติเมตร

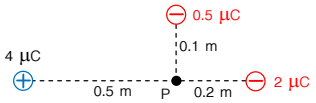
12. ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ศักย์ไฟฟ้า	V	$Volt^{\text{โวลต์}}$
2	ประจุไฟฟ้า(คิดเครื่องหมาย)	$q^{\pm}$	$C^{\text{คูลอมบ์}}$
3	ระยะห่างจาก ศก. ประจุ	r	$m^{\text{เมตร}}$
4	ค่าคงที่คูลอมบ์(=9x10^9)	k	$N.m^2/C^2$

❶ $V = \frac{kq}{r}$ r เป็นระยะที่วัดจากจุด ศก. นะครับ สูตรนี้ต้องคิดเครื่องหมายประจุนะครับ

❷ ในกรณีประจุหลายตัวให้นำ V ที่เกิดจากแต่ละตัวมารวมกันโดยคิดเครื่องหมาย

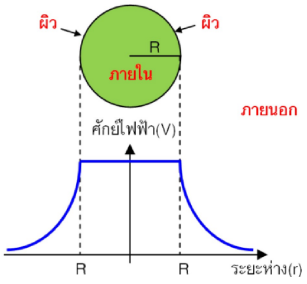
ตัวอย่าง จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด P



13. ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากตัวนำทรงกลม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ศักย์ไฟฟ้า	V	$Volt^{\text{โวลต์}}$
2	ประจุไฟฟ้า(คิดเครื่องหมาย)	$Q^{\pm}$	$C^{\text{คูลอมบ์}}$
3	ระยะห่างจาก ศก. ประจุ	r	$m^{\text{เมตร}}$
4	รัศมีของตัวนำทรงกลม	R	$m^{\text{เมตร}}$
5	ค่าคงที่คูลอมบ์(=9x10^9)	k	$N.m^2/C^2$

❶ การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม



❷ $V_{\text{ภายใน}} \neq 0$

$V_{\text{ภายใน}} = V_{\text{ผิว}} = \frac{kQ}{R}$

$V_{\text{นอก}} = \frac{kQ}{r}$

$V_{\infty} = 0$

r เป็นระยะที่วัดจากจุด ศก. นะครับ และต้องคิดเครื่องหมายประจุ

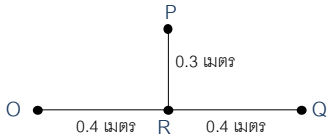
14. ความต่างศักย์ไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ศักย์ไฟฟ้า ตน.1 และ ตน.2	V_1, V_2	$Volt^{\text{โวลต์}}$
2	ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด	V_{12}	$Volt^{\text{โวลต์}}$
3	สนามไฟฟ้า	E	N/C,V/m
4	ระยะห่างระหว่างแผ่นขนาน	d	$m^{\text{เมตร}}$
5	ระยะขนานระหว่าง ตน.1 และ ตน.2	d_{12}	$m^{\text{เมตร}}$
6	ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นขนาน	V	$Volt^{\text{โวลต์}}$

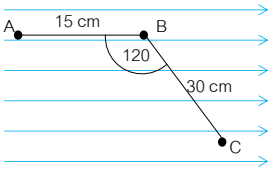
❶ กรณีจุดประจุ $V_{12} = V_1 - V_2$

❷ กรณีตัวนำคู่ขนาน $V_{12} = \pm E\, d_{12}$

ตัวอย่างที่ 1 ที่ตำแหน่ง O และ Q มีประจุไฟฟ้า −2 และ 10 ไมโครคูลอมบ์ ตามลำดับ จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด R และ P



ตัวอย่างที่ 2 จากรูป จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด C และ A หากกำหนดให้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเท่ากับ 200 N/m

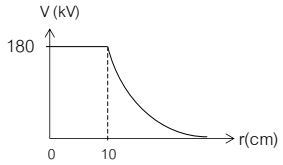


15. ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ศักย์ไฟฟ้า	V	Volt โวลต์
2	สนามไฟฟ้า	E	N/C,V/m
3	ระยะห่างจากประจุ	r	m เมตร

❶ ลองดูสูตรหัวข้อ 6 และ 12 หาความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ E ซิครับ...จะได้ไม่ต้องจำ

ตัวอย่าง ตัวนำทรงกลมรัศมี 10 เซนติเมตร มีการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าดังรูป จงหาค่าสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างจากผิวตัวนำเท่ากับ 2.9 เมตร



16. พลังงานศักย์ไฟฟ้าและงานในการเคลื่อนย้ายประจุ

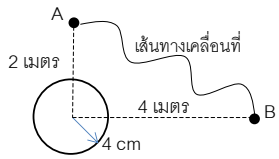
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ศักย์ไฟฟ้า ตน.1 และ 2	V_1, V_2	Volt โวลต์
2	ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง ตน.1,2	V_{12}	Volt โวลต์
3	สนามไฟฟ้า	E	N/C,V/m
4	ระยะห่างระหว่างแผ่นขนาน	d	m เมตร
5	ระยะขนานระหว่าง ตน. 1,2	d_{12}	m เมตร
6	ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นขนาน	V	Volt โวลต์
7	ประจุไฟฟ้า(คิดเครื่องหมาย)	$q^{\pm}$	C คูลอมบ์
8	งานในการย้ายประจุจาก ตน.1→ 2	$W_{1\to2}$	J จูล
9	พลังงานศักย์ไฟฟ้า	E_P	J จูล

❶ $E_P = qV$ สูตรนี้ต้อง **คิดเครื่องหมายทั้ง q และ V** โดย V = kQ/r

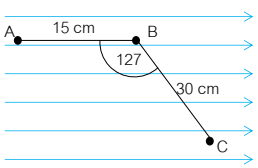
❷ $W_{1\to2} = E_{P2} - E_{P1}$ ลองแทนค่า E_P ลงไปจะได้

$W_{1\to2} = q(V_2 - V_1)$; V_2 , V_1 คิดเหมือนหัวข้อ 14

ตัวอย่างที่ 1 ตัวนำทรงกลมรัศมี 4 cm มีประจุ 0.8 ไมโครคูลอมบ์ จงหางานในการนำประจุ −1 คูลอมบ์ เคลื่อนที่จาก B ไป A



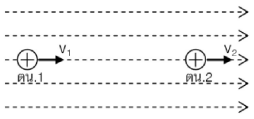
ตัวอย่างที่ 2 จากรูป จงหางานในการเคลื่อนประจุ −5 คูลอมบ์ จากจุด A ไป C หากกำหนด ให้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ 200 N/m



17. การเร่งประจุ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	อัตราเร็ว ตน.1 , ตน.2	v_1, v_2	m/s เมตร/วินาที
2	พลังงานศักย์ไฟฟ้า ตน.1,ตน.2	E_{p1}, E_{p2}	m/s เมตร/วินาที
3	พลังงานจลน์ ตน.1,ตน.2	E_{k1}, E_{k2}	kg กิโลกรัม
4	พลังงานรวม ตน.1,ตน.2	E_1, E_2	Volt โวลต์

❶ หลัก : อนุรักษ์พลังงาน $E_1 = E_2$



❷ $E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$

ตัวอย่าง อนุภาคมีประจุ 2 x 10^{-5} คูลอมบ์ เริ่มเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง ในบริเวณที่มีสนาม ไฟฟ้าสม่ำเสมอ 50 โวลต์ต่อเมตร เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ได้ x เมตร ในทิศเดียวกับสนามอนุภาคจะมีพลังงานเป็น 1 x 10^{-5} จูล จงหา x ในหน่วยเมตร

18. ความจุไฟฟ้าและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

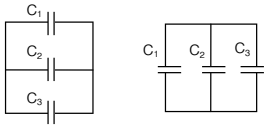
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ	U	J จูล
2	ประจุไฟฟ้าสะสม	Q	C คูลอมบ์
3	ศักย์ไฟฟ้าที่ผิว(หรือ ความต่างศักย์)	V	Volt โวลต์
4	ความจุไฟฟ้า	C	F ฟารัด
5	รัศมีตัวนำทรงกลม	R	m เมตร

❶ **ทรงกลมตัน** $C = \frac{Q}{V} = \frac{R}{k}$ **ตัวนำคู่ขนาน** $C = \frac{q}{V}$

❷ $U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

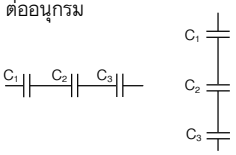
19. การต่อตัวเก็บประจุ

❶ ต่อขนาน



$C_{รวม} = C_1 + C_2 + C_3$

❷ ต่ออนุกรม

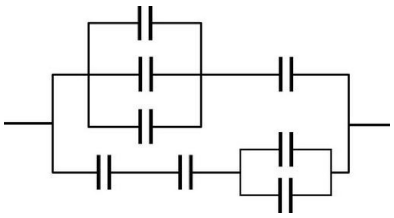


$\frac{1}{C_{รวม}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

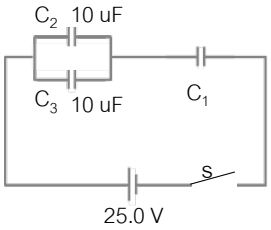
❸ อนุกรม 2 ตัว $C_{รวม} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$

❹ อนุกรม n ตัว แต่ละตัวเท่ากัน $C_{รวม} = \frac{C}{n}$

20. การวิเคราะห์วงจรตัวเก็บประจุ



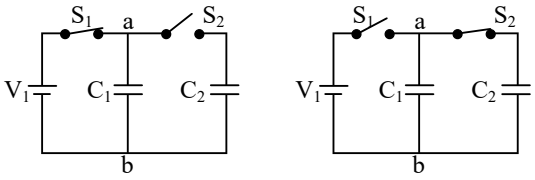
ตัวอย่าง เมื่อสับสวิตช์ลงในวงจรดังรูป จะมีประจุไฟฟ้าขนาด 100 ไมโครคูลอมบ์ ไหลจากแบตเตอรีไปเก็บในตัวเก็บประจุทั้งสาม จงหาขนาดความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C1



1 4 ไมโครฟารัส
2 7 ไมโครฟารัส
3. 5 ไมโครฟารัส
4 3 ไมโครฟารัส

21. การอัดและคายประจุ

อัดประจุ **คายประจุ**



ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุสองตัวมีประจุเต็ม ตัวแรกมีค่าความจุ 3 ไมโครฟารัด มีความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 15 โวลต์ ตัวที่สองมีค่าความจุ 5 ไมโครฟารัด และความต่างศักย์ 7 โวลต์ เมื่อนะตัวเก็บประจุทั้งสองมาต่อขนานกัน โดยให้ขั้วบวกต่อกับขั้วบวก ขั้วลบต่อกับ ขั้วลบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองขั้วมีค่ากี่โวลต์

20. ไฟฟ้ากระแสตรง

1. กระแสไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กระแสไฟฟ้า	I	$A^{\text{แอมแปร์}}$
2	ประจุไฟฟ้า	Q	$C^{\text{คูลอมล์}}$
3	เวลา	t	$Sec^{\text{วินาที}}$

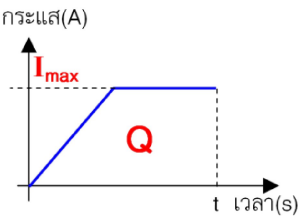
❶ **กระแสไฟฟ้า** หมายถึง **อัตราการเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าใน 1 หน่วยเวลา**

❷ สูตรคำนวณ $I = \frac{Q}{t}$

❹ ทิศทางของกระแสไฟฟ้า ถูกสมมุติมีได้หลากหลาย ดังนี้

- มี **ทิศเดียว** กับอนุภาค **ประจุไฟฟ้าบวก** หรือ
- มี **ทิศเดียว** กับ **สนามไฟฟ้า(E)** หรือ
- มี ทิศจาก **ศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำ**
- มี **ทิศตรงข้ามอนุภาคไฟฟ้าลบ** (หรือ อิเล็กตรอน)

2. กราฟกระแสไฟฟ้า–เวลา



Q = พื้นที่ใต้กราฟ $I-t$

$I_{เฉลี่ย} = \frac{Q}{t}$

3. การนำกระแสไฟฟ้าในตัวนำชนิดต่าง ๆ

หลักการ คือ กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า

❶ **ตัวนำโลหะ** ⇒ **อิเล็กตรอนอิสระ**

❷ **ไดโอด(หลอดสุญญากาศ)** ⇒ **อิเล็กตรอน**

❸ **หลอดบรรจุแก๊ส** ⇒ **อิเล็กตรอนอิสระ และ ไอออนบวก**

❹ **สารกึ่งตัวนำ** ⇒ **อิเล็กตรอนอิสระ และ โฮล**

❺ **สารอิเล็กโตรไลท์** ⇒ **ไอออนบวก และ ไอออนลบ**

4. กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กระแสไฟฟ้า	I	$A^{\text{แอมแปร์}}$
2	ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน	e	$C^{\text{คูลอมล์}}$
3	อัตราเร็วลอยเลื่อน	v	$m/s^{\text{เมตร/วินาที}}$
4	พื้นที่หน้าตัดเส้นลวด	A	$m^{2(\text{ตร.ม})}$
5	ความหนาแน่นอิเล็กตรอน	n	$m^{-3\ (\text{ต่อลบ.ม})}$

❶ การเคลื่อนที่แบบ **บราวน์** เป็นการเคลื่อนที่ซึ่ง **ทิศไม่แน่นอน** $v_{เฉลี่ย}$ **ของ** $e = 0$

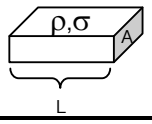
❷ การเคลื่อนที่แบบ **ลอยเลื่อน** เป็นการเคลื่อนที่ซึ่งมี **ทิศทางแน่นอน** อันเนื่องจาก ความต่างศักย์ $v_{เฉลี่ย}$ ของ $e \neq 0$

$I = evAn$

5. ความต้านทาน ความนำไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ

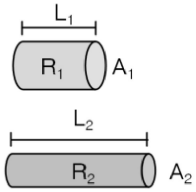
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต้านทาน	R	$\Omega^{\text{โอห์ม}}$
2	สภาพต้านทาน	ρ	$\Omega.m^{\text{โอห์ม.เมตร}}$
3	ความยาวเส้นลวด	L	$m^{\text{เมตร}}$
4	พื้นที่หน้าตัดเส้นลวด	A	$m^{2(\text{ตร.ม})}$
5	ความนำไฟฟ้า	C	$S^{(\text{ซีเมนต์})}$
6	สภาพนำไฟฟ้า	σ	$Sm^{-1(\text{ซีเมนต์ต่อเมตร})}$

$R = \frac{\rho L}{A}$ $C = \frac{\sigma A}{L}$ $C = \frac{1}{R}$



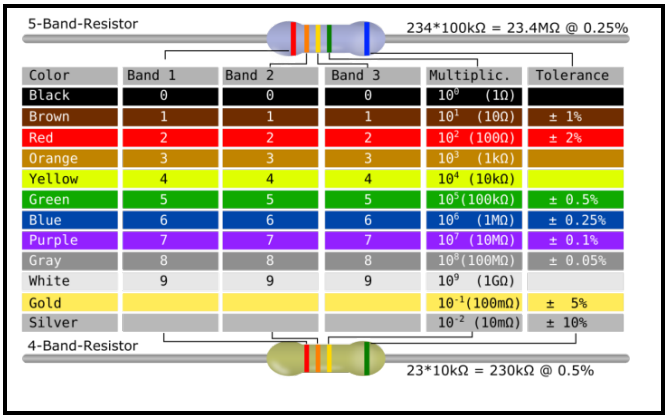
6. ความต้านทานกับการรีด(ยืดเส้นลวด)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต้านทาน	R	$\Omega^{\text{โอห์ม}}$
2	ความยาวเส้นลวด	L	$m^{\text{เมตร}}$
3	พื้นที่หน้าตัด	A	$m^{2(\text{ตร.ม})}$
4	เส้นผ่านศูนย์กลาง	d	$m^{\text{เมตร}}$



$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4$$

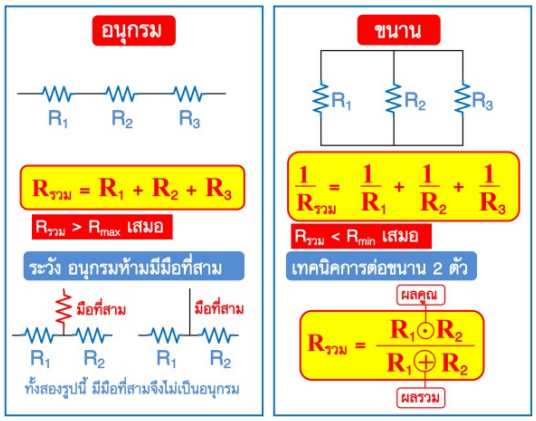
7. การอ่านค่าแถบสีของความต้านทาน



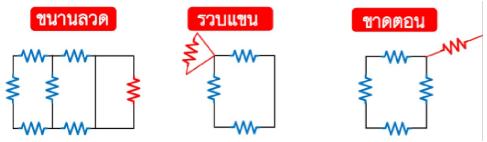
Color	Band 1	Band 2	Band 3	Multiplic.	Tolerance
Black	0	0	0	10^0 (1Ω)	
Brown	1	1	1	10^1 (10Ω)	± 1%
Red	2	2	2	10^2 (100Ω)	± 2%
Orange	3	3	3	10^3 (1kΩ)	
Yellow	4	4	4	10^4 (10kΩ)	
Green	5	5	5	10^5(100kΩ)	± 0.5%
Blue	6	6	6	10^6 (1MΩ)	± 0.25%
Purple	7	7	7	10^7 (10MΩ)	± 0.1%
Gray	8	8	8	10^8(100MΩ)	± 0.05%
White	9	9	9	10^9 (1GΩ)	
Gold				10^{-1}(100mΩ)	± 5%
Silver				10^{-2} (10mΩ)	± 10%

8. การต่อตัวต้านทาน

❶ อนุกรม และ ขนาน



Trick : ตัวต้านทานที่ไม่มีผลต่อวงจร ให้ตัดทิ้งเลย

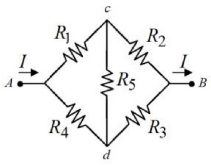


❷ บริดจ์สมดุล

ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข $V_c = V_d$

ส่งผลให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_5

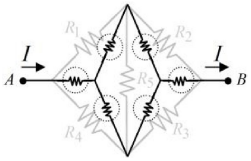
(เอาออกจากวงจรได้เลย)



บริดจ์สมดุล ตรวจสอบโดย $R_1 R_3 = R_2 R_4$

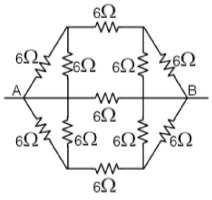
❸ บริดจ์ไม่สมดุล($R_1R_3 \neq R_2R_4$) จะมีกระแสไหลผ่าน R_5 (ห้ามตัดออกจากวงจร)

ต้องวิเคราะห์วงจรโดยการแปลงด้วยหลัก "Delta to Star"

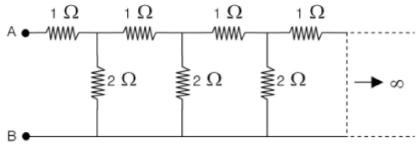


$$R_{star} = \frac{\text{ผลคูณ R ซ้ายขวา}}{\text{ผลบวก } R_{delta}}$$

❹ การต่อแบบสมมาตร ใช้หลัก : ผ่ากลาง รวมบน รวมล่าง คิดขนานกันตอนจบ



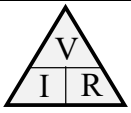
❺ ต่ออนันต์



9.กฎของโอห์ม

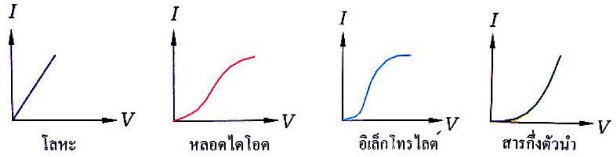
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กระแสไฟฟ้า	I	$A^{\text{แอมแปร์}}$
2	ความต้านทาน	R	$\Omega^{\text{โอห์ม}}$
3	ความต่างศักย์ไฟฟ้า	V	$V^{\text{โวลต์}}$

❶ กฎของโอห์ม กล่าวว่า "$I \propto V$ แต่ $I \propto 1/R$"



*** เน้น ความสัมพันธ์ให้ชำนาญ จะดีมาก ***

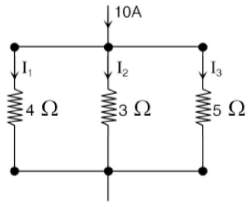
❸ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และ ความต่างศักย์ไฟฟ้า



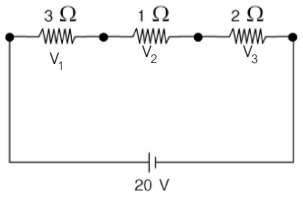
10. การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

❶ กฎของโอห์ม(Ohm's Law) ใช้อธิบายวงจรแบ่งกระแสและแบ่งความต่างศักย์

ตย.1 จงหาอัตราส่วน I_1, I_2, I_3 ตย.2 จงหาอัตราส่วน V_1, V_2, V_3



ขนาน V เท่ากัน

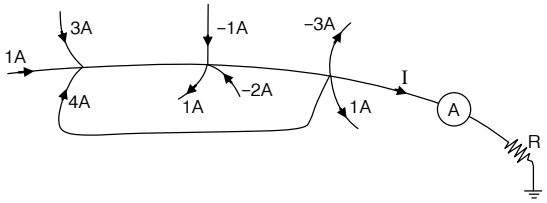


อนุกรม I เท่ากัน

❷ กฎของเคอร์ชอร์ฟ มี 2 ข้อ คือ

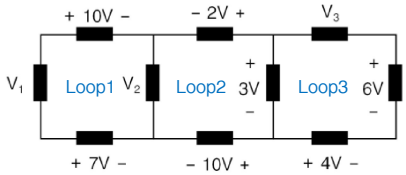
ข้อ KCL ทุกจุดใดๆ กระแสไหลเข้า = กระแสไหลออก

ตย.3 จงหาค่า I



ข้อ KVL ผลรวม V ของ Loop ใดๆ = 0 เสมอ

ตย.3 จงหาค่า V_1, V_2, V_3



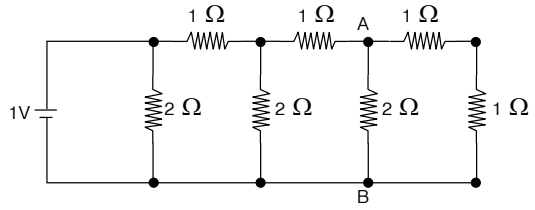
11. การวิเคราะห์วงจรอย่างง่าย

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	E	V โวลต์
2	ความต้านทานภายนอก	R	Ω โอห์ม
3	ความต้านทานภายใน	r	Ω โอห์ม
4	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์

❶ วงจรอย่างง่าย คือ สามารถยุบรวมได้เหลือเพียง 1 loop

❷ ใช้กฎของโอห์มวิเคราะห์ Loop จากข้อ ❶

ตัวอย่าง จากวงจรที่กำหนดให้ จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B



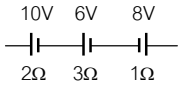
12. การต่อเซลล์ไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	E	V โวลต์
2	ความต้านทานภายใน	r	Ω โอห์ม

❶ **ต่ออนุกรม**

แรงเคลื่อนไฟฟ้า : หันขั้วไปทางเดียวกันให้รวมกัน หัวขั้วคนละทางให้หักล้างกัน

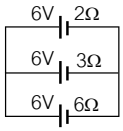
ความต้านทาน : ให้รวมกันแบบ R อนุกรม



❷ **ต่อขนาน** กรณีทุกตัวมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากัน

แรงเคลื่อนไฟฟ้า : ได้เท่ากับของแต่ละตัว

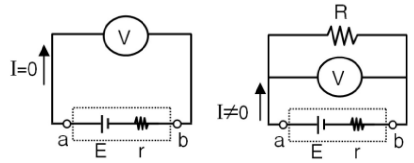
ความต้านทาน : ให้รวมกันแบบ R ขนาน



13. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์	V_{ab}	V โวลต์

ขณะยังไม่ใช้งาน ขณะยังใช้งาน



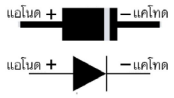
ทั้ง 2 กรณี ไม่มีกระแสไหลผ่านโวลต์มิเตอร์

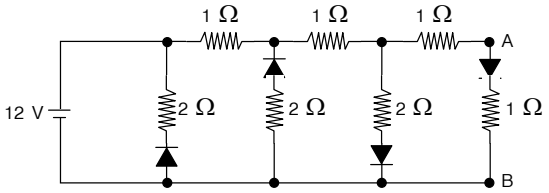
$V_{ab} = E = V$

$\frac{V_{ab}}{E} = \frac{R}{R+r}$ ใช้หลักแบ่งความต่างศักย์

14. ไดโอด

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดจากขั้ว + ไป − เท่านั้น

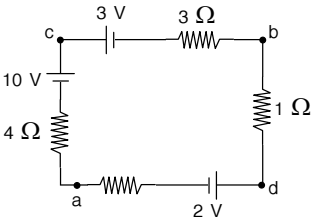




15. ความต่างศักย์ระหว่างจุดใดๆ(V_{ab})

❶ หา I → หา $V_{รวม}$ จาก a ไป b

ตัวอย่าง พิจารณาวงจรไฟฟ้าดังรูป ขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด a และ b มีค่าเท่าใด



17. กำลังไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้า	P	W วัตต์
2	พลังงานไฟฟ้า	W	J จูล
3	เวลา	t	sec วินาที

❶ **กำลังไฟฟ้า คือ อัตราการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า**

$$P = \frac{W}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

❷ ไฟตก คือ V ลดลง เครื่องใช้ไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าลดลง ... ดูสูตร $P \propto V^2$

ไฟเกิน คือ V เพิ่มขึ้น เครื่องใช้ไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าเกินที่จะรับได้(=พัง)

แต่ R ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องคงที่

❸ การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า 2 ตัว

ต่อขนาน : V คงที่ P ผกผันกับ R → $R_{น้อย}$ $P_{มาก}$

ต่ออนุกรม : I คงที่ P ผันตรงกับ R → $R_{มาก}$ $P_{มาก}$

18. พลังงานไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 1 หม้อหุงข้าวใบหนึ่งมีความต้านทานเท่ากับ 100 โอห์ม ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 200 โวลต์ ใช้เวลาในการหุงข้าวให้สุกเท่ากับครึ่งชั่วโมง จงคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปสำหรับหม้อหุงข้าว

ตัวอย่างที่ 2 กาต้มน้ำไฟฟ้าใบหนึ่ง ใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์ เพื่อใช้ต้มน้ำ 1 ลิตร ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้เดือดในเวลา 5 นาที อยากทราบว่าถ้าใช้กาต้มน้ำใบนี้กับความต่างศักย์ 110 โวลต์ ในการต้มน้ำปริมาตรเท่าเดิมน้ำจะเดือดภายในกี่นาที

19. การคิดค่าไฟ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้า	P	kW กิโลวัตต์
2	หน่วยการใช้ไฟฟ้า(=พลังงานไฟฟ้า)	U	Unit=kW.hr กิโลวัต.ชั่วโมง
3	เวลาใช้ไฟ	t	hr ชั่วโมง
4	อัตราค่าบริการ	$Rate$	Bath/unit
5	ค่าไฟ	$Cost$	Bath

❶ หน่วยการใช้ไฟ $U = P\,t$

❷ ค่าไฟ $cost = U \cdot Rate$

20. วงจรไฟฟ้าในบ้านและฟิวส์

❶ อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านทุกตัวต่อขนานกัน จึงต้องมีความต่างศักย์เท่ากัน

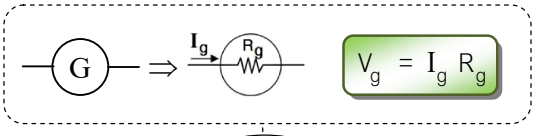
❷ ขนาดฟิวส์ เลือกตามปริมาณกระแส $Fuse > I$

$I = \frac{P_{รวม}}{V}$ $P_{รวม} = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$

ตัวอย่าง บ้านหลังหนึ่งใช้ไฟฟ้าความต่างศักย์ 220 โวลต์ ถ้าใช้เครื่องไฟฟ้าดังต่อไปนี้ หม้อหุงข้าวขนาด 800 วัตต์ ตู้เย็นขนาด 200 วัตต์ และหลอดเรืองแสงขนาด 40 วัตต์ 10 ดวง ควรใช้ฟิวส์รวมขนาดกี่แอมแปร์

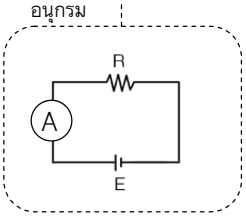
21. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต้านทานกัลป์วานอร์มิเตอร์	R_g	Ω โอห์ม
2	กระแสสูงสุดของกัลป์วานอร์ ฯ	I_g	A แอมแปร์
3	ความต่างศักย์สูงสุดของกัลป์วานอร์ ฯ	V_g	V โวลต์

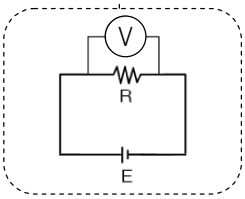


การใช้งาน

วัดกระแส อนุกรม



วัดความต่างศักย์ ขนาน

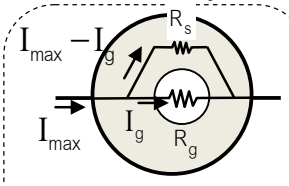


22. การดัดแปลงแอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต้านทานของชันต์	R_s	Ω โอห์ม
2	ความต้านทานของมัลติพลายเออร์	R_m	Ω โอห์ม
3	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการวัด	I_{max}	A แอมแปร์
4	ความต่างศักย์สูงสุดที่ต้องการวัด	V_{max}	V โวลต์

การดัดแปลง

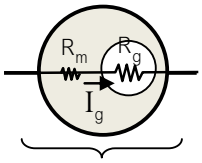
แอมป์มิเตอร์ R_s ขนาน R_g



❶ ขนาน V เท่ากัน $I \propto 1/R$

$\frac{I_{max} - I_g}{I_g} = \frac{R_g}{R_s}$

โวลต์มิเตอร์ R_m อนุกรม R_g



❷ อนุกรม I เท่ากัน $V \propto R$

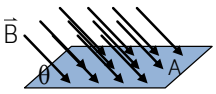
$\frac{V_{max}}{V_g} = \frac{R_m + R_g}{R_g}$

21. แม่เหล็กไฟฟ้า

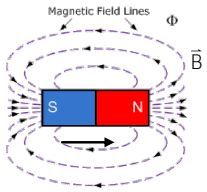
1. เส้นแรงแม่เหล็ก และ สนามแม่เหล็ก

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	(ความเข้ม)สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลา
2	พื้นที่ระนาบ	A	m^2 ตารางเมตร
3	มุมระหว่าง A และ ∅	θ	องศา
4	เส้นแรงแม่เหล็ก	∅	Wb เวเบอร์

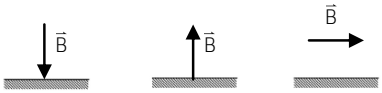
❶ $\phi = B A \sin\theta$

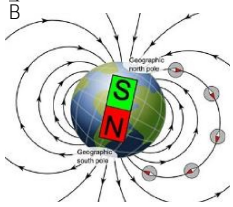


❷ ภายในแท่งแม่เหล็ก : B พุ่งจาก S → N
ภายนอกแท่งแม่เหล็ก : B พุ่งจาก N → S



❸ โลก : B พุ่งจาก ขั้วโลกใต้ → ขั้วโลกเหนือ





❹ การทดลองผงตะไบเหล็ก ใช้หาจุดสะเทิน ($\vec{B} = 0$)
*** จุดสะเทิน คือ จุดที่สนามแม่เหล็กหักล้างกันเป็นศูนย์ ***

❺ เข็มทิศ ใช้หาทิศสนามแม่เหล็ก

2. แรงแม่เหล็ก

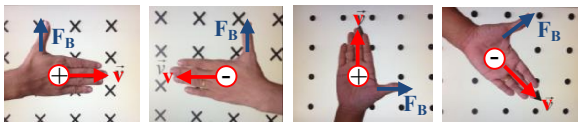
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ประจุไฟฟ้า	q	C คูลอมบ์
2	อัตราเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
3	สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลา
4	มุมระหว่าง v และ B	θ	องศา
5	แรงแม่เหล็ก	F_B	N นิวตัน

❶ $F_B = q\,v\,B\sin\theta$

❷ v // B → $\theta = 0$ → $F_B = 0$ → q วิ่งเป็นเส้นตรง v คงที่
v ⊥ B → $\theta = 90$ → $F_B = qvB$ → q วิ่งเป็นวงกลม
v ∠ B → $\theta \neq 0, 90$ → $F_B = qvB\sin\theta$ → q วิ่งเป็นเกลียว

❸ ทิศของ B • × "เข้าดอก ออกจุด"

❹ ทิศทาง F_B



3. การเคลื่อนที่แบบวงกลมในสนามแม่เหล็ก

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวล	m	kg กิโลกรัม
2	สนามแมเหล็ก	B	T เทสลา
3	แรงสู่ศูนย์กลาง	F_c	N นิวตัน
4	ความเร่งสู่ศูนย์กลาง	a_c	m/s^2
5	รัศมี	R	m เมตร
6	คาบเวลา	T	sec วินาที/รอบ
7	ความถี่	F	Hz รอบ/วินาที
8	เวลา	t	sec วินาที
9	มุมเบี่ยงเบน	α	องศา

❶ หลัก $F_c = ma_c$, $F_c = F_B$, $a_c = v^2 / r$, $F_B = q\,v\,B$

❷ $\omega = \frac{v}{r} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{\alpha}{t} = \frac{qB}{m}$

4. ประจุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	สนามไฟฟ้า	E	V/m โวลต์/เมตร
2	สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลา
3	อัตราเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
4	ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่น	V	V โวลต์
5	ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ	d	m เมตร

❶ สนามไฟฟ้าแม่เหล็ก หมายถึง มีทั้งสนามไฟฟ้า(E) และสนามแม่เหล็ก(B)

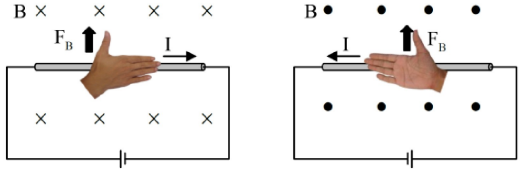
❷ E มีทิศจากแผ่นตัวนำ + → −
ประจุบวก F_E มีทิศตรงกับ E แต่ ประจุลบ F_E มีทิศตรงข้ามกับ E

❸ q เคลื่อนที่เป็นตรงเพราะ $F_B = F_E$ โดย $F_E = qE$ $E = \frac{V}{d}$

5. แรงแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวด

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความยาวเส้นลวด	L	m เมตร
2	สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลา
3	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์
4	มุมระหว่าง I และ B	θ	องศา

$F_B = L\,I\,B\sin\theta$



6. โมเมนต์ของแรงคู่ควบในมอร์เตอร์ไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนขดลวด	N	รอบ
2	พื้นที่ระนาบขดลวด	A	m^2 ตารางเมตร
3	สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลา
4	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์
5	มุมระหว่างระนาบขดลวดกับ B	θ	องศา
6	โมเมนต์ของแรงคู่ควบ	M	N.m นิวตัน.เมตร

❶ $M = NIAB\cos\theta$

❷ M_{max} เมื่อ $\theta = 0$ หมายถึง A // B
M_{min} เมื่อ $\theta = 90$ หมายถึง $A \perp B$

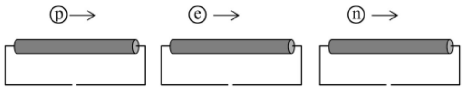
❸ ขนาดของ M ไม่ขึ้นกับรูปร่างของขดลวด

7. สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์
2	สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลา
3	ระยะห่างจากลวดเส้นตรง	d	m เมตร
4	รัศมีขดลวดวงกลม	r	m เมตร
5	Air Permeability ($4\pi x10^{-7}$)	μ_o	Wb/A.m
6	จำนวนรอบขดลวด	N	รอบ
7	ความยาวลวดโซเลนอยด์	L	m เมตร

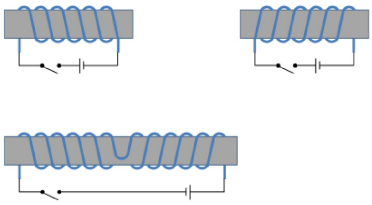
❶ ลวดเส้นตรง

$B = \frac{\mu_o I}{2\pi d}$



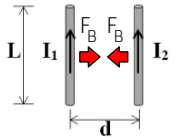
❷ โซเลนอยด์

$B = \frac{N\mu_o I}{L}$

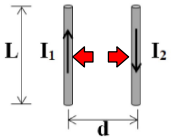


8. แรงกระทำระหว่างเส้นลวด

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์
2	แรงกระทำระหว่างเส้นลวด	F_B	N นิวตัน
3	ความยาวเส้นลวด	L	m เมตร
4	ระยะห่างระหว่างเส้นลวด	d	m เมตร
5	ค่าคงที่(2×10^{-7})	k	Wb/A.m



กระแสไหลทางเดียวกัน
เกิดแรงดูด



กระแสไหลสวนทาง
เกิดแรงผลัก

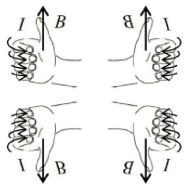
$F_B = \frac{k I_1 I_2 L}{d}$

9. กฎของฟาราเดย์ และ เลนส์

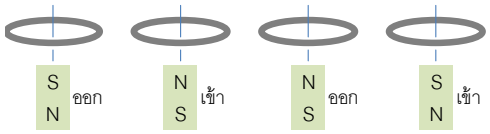
❶ ฟาราเดย์ พบว่า "เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กที่พุ่งผ่านขดลวดมีค่าเปลี่ยน แปลงจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น"

❷ เลนส์ พบว่า "ขดลวดจะสร้างกระแสเหนี่ยวนำเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่พุ่งผ่าน"

❸ ขดลวด จะสร้างสนามแม่เหล็กต้านการเปลี่ยนแปลง เกิดกระแสตามกฎมือขวา
หรือ ใช้หลัก "เข้าเหมือน ออกต่าง"



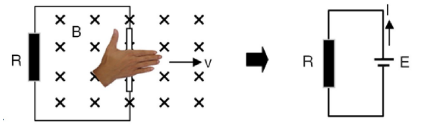
ตัวอย่าง จงหากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด



10. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนขดลวด	N	รอบ
2	ความเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
3	ความยาวเส้นลวด	L	m เมตร
4	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	E	V โวลต์

$E = vBLN$



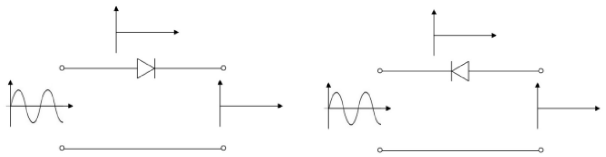
มือขวา: v = ปลายนิ้ว , B = ฝ่ามือ
นิ้วโป้ง = ขั้ว +

10. เครื่องปั่นไฟ

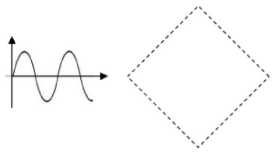
ใครอยากรู้ไปดูเนื้อเต็มในเล่มนะครับ

11. การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง

❶ ไดโอด 1 ตัว แปลงจาก Sine wave → Half wave



❷ ไดโอด 4 ตัว แปลงจาก Sine wave → Full wave

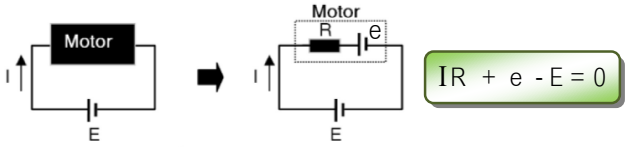


❸ ตัวเก็บประจุทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้เรียบเป็นกระแสตรง

12. แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับในมอเตอร์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า	E	V โวลต์
2	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์
3	ความต้านทานของมอเตอร์	R	Ω โอห์ม
4	แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ	e	V โวลต์

หลัก : ใส่ R , e ให้กับ motor → ใช้ KVL

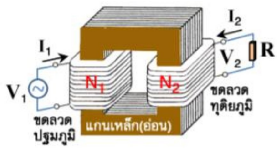


$$IR + e - E = 0$$

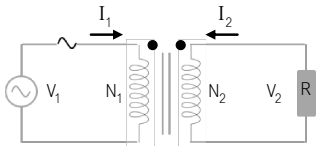
13. หม้อแปลงไฟฟ้า

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	เลขห้อยด้านปฐมภูมิ	1	-
2	เลขห้อยด้านทุกตยภูมิ	2	-
3	ความต่างศักย์	V_1, V_2	V โวลต์
4	จำนวนขดลวด	N_1, N_2	รอบ
5	กระแสไฟฟ้า	I_1, I_2	A แอมแปร์
6	กำลังไฟฟ้า	P_1, P_2	W วัตต์
7	ความต้านทาน	R	Ω โอห์ม
8	ประสิทธิภาพ	η	-

❶ องค์ประกอบ



วงจร



❷ หลัก V α N จึงได้สูตรที่ใช้ได้กับโจทย์ทุกข้อในโลก $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

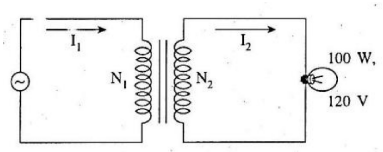
❸ หม้อแปลงอุดมคติ $P_1 = P_2$

❹ หม้อแปลงไม่อุดมคติ $P_1 - P_{เสีย} = P_2$ หรือ $\eta P_1 = P_2$

❺ $P_1 = V_1 I_1$ $P_2 = \frac{W}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$ $P_{เสีย} = \frac{W_{เสีย}}{t}$

❻ หม้อแปลง แปลงขึ้น $V_2 > V_1$, แปลงลง $V_2 < V_1$

ตัวอย่าง หลอดไฟชนิด 100 วัตต์ 120 โวลต์ ต่อเข้ากับหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิเป็น 5 : 1 ถ้าหม้อแปลงเป็นแบบสมบูรณ์ จงหาว่า กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดปฐมภูมิสูงสุดเป็นเท่าไร หลอดไฟจึงจะยังไม่ขาด



22. ไฟฟ้ากระแสสลับ

1. สัญญาณ , ค่าสูงสุด , ค่ายังผล

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต่างศักย์สูงสุด	V_{max}	V โวลต์
2	ความต่างศักย์ยังผล	V_{rms}	V โวลต์
3	กระแสไฟฟ้าสูงสุด	I_{max}	A แอมแปร์
4	กระแสไฟฟ้ายังผล	I_{rms}	A แอมแปร์
5	ความถี่	f	Hz เฮิรตซ์
6	คาบเวลา	T	Hz^{-1}
7	อัตราเร็วเชิงมุม	ω	rad/sec เรเดียน/วินาที
8	เฟสเริ่มต้น	ϕ	°, rad

❶ $V(t) = V_{max} \sin(\omega t + \phi_V)$ $I(t) = I_{max} \sin(\omega t + \phi_I)$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

❷ → **ค่ายังผล** หรือ ค่า **rms** = root mean square
= **ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสอง**

→ ในทางปฏิบัติค่า **rms** = **ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด(มิเตอร์)**

- **โวลต์มิเตอร์** อ่านได้เป็นค่า V_{rms}
- **แอมป์มิเตอร์** อ่านได้เป็นค่า I_{rms}

→ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่ายังผล

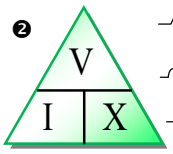
ตัวอย่าง จงหาค่าเฉลี่ย และค่ายังผลของข้อมูล 1 , −1 , 1 , −1 , 1 , −1

2. ตัวต้านทาน , ตัวเหนี่ยวนำ , ตัวเก็บประจุ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ค่าความต้านทาน	R	Ω โอห์ม
2	ค่าความเหนี่ยวนำ	L	H เฮนรี่
3	ค่าความจุไฟฟ้า	C	F ฟารัส
4	ค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ	X_L	Ω โอห์ม
5	ค่าความต้านทานเชิงความจุ	X_C	Ω โอห์ม
6	ความต่างศักย์	V	V โวลต์
7	กระแสไฟฟ้า	I	A แอมแปร์
8	เฟส	ϕ	°, rad

❶ $X_L = \omega L$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

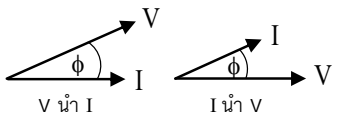
❷ 

$V_R = I_R R$

$V_L = I_L X_L$

$V_C = I_C X_C$

❸ แผนภาพเฟสเซอร์
คือ ภาพแสดงขนาดและทิศทาง
ระหว่างเวเตอร์ I และ V



❹ วงจรอนุกรม I ต้องเท่ากันทั้งขนาดและทิศทาง $I = I_R = I_L = I_C$
วงจรขนาน V ต้องเท่ากันทั้งขนาดและทิศทาง $V = V_R = V_L = V_C$

❺ ตัวเก็บประจุ I_C นำ V_C อยู่ 90° **CIVIL** ตัวเหนี่ยวนำ V_L นำ I_L อยู่ 90°

3. การวิเคราะห์วงจร RLC อนุกรม

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ค่าความต้านทานรวมเชิงซ้อน	Z	Ω โอห์ม
2	ตัวประกอบกำลัง(P.F.)	$\cos\phi$	-

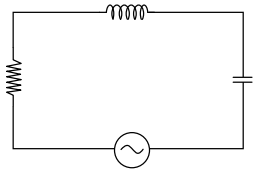
❶ หลัก : วงจรอนุกรม
I ต้องเท่ากันทั้งขนาดและทิศทาง

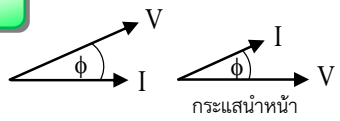
$$I = I_R = I_L = I_C$$

❷ $$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$P.F. = \cos\phi = \frac{R}{Z}$$





❸ $V = IZ$

4. การวิเคราะห์วงจร RLC ขนาน

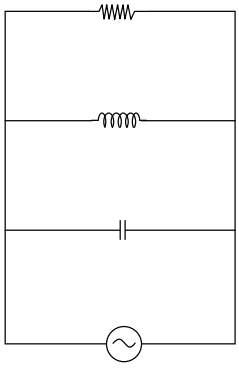
❶ หลัก : วงจรขนาน
V ต้องเท่ากันทั้งขนาดและทิศทาง

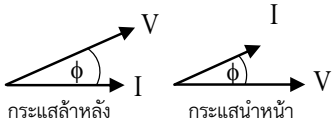
$$V = V_R = V_L = V_C$$

❷ $$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$P.F. = \cos\phi = \frac{Z}{R}$$

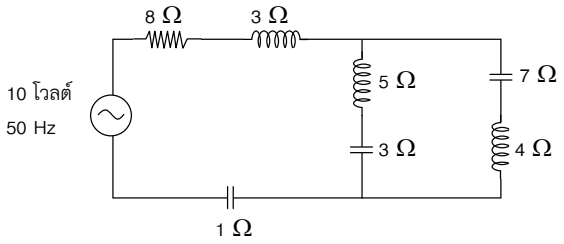




❸ $V = IZ$

5. วงจร RLC ผสม

ตัวอย่าง จงหาแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจร



6. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	P	W วัตต์, VA โวลต์.แอมป์
2	กำลังไฟฟ้าสูงสุด	P_{max}	W วัตต์, VA โวลต์.แอมป์

❶ $P = VI\cos\phi$ $\quad P_{max} = V_{max} I_{max} \cos\phi = 2P$

❷ ทบทวนข้อความต่อไปนี้ให้แม่นยำ

1. ϕ คือ ความต่างเฟสระหว่างกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า
2. ตัวต้านทานเท่านั้นที่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า (L,C ไม่มีการสูญเสีย)

$$P = P_R = \frac{W}{t} = V_R I_R = I_R^2 R = \frac{V_R^2}{R}$$

7. วงจรเรโซแนนซ์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความถี่เรโซแนนซ์	f_r	Hz เฮิรตซ์

❶ ขณะวงจรเรโซแนนซ์ พบว่า $\rightarrow$ P จะมีค่าสูงสุด

$\rightarrow$ P.F. = 1 , $\cos\phi = 1$

$\rightarrow$ R = Z เพราะ $X_L = X_C$

$\rightarrow$ อนุกรม I_{max} ขนาน I_{min}

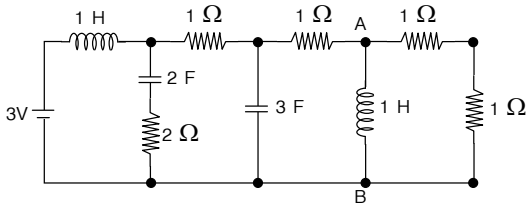
❷ สูตร มาจาก $X_L = X_C$ $\quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

8. วงจรไร้ความถี่

❶ ไร้ความถี่ หมายถึง $\omega = 0$ ทำให้ $X_L = 0$, $X_C = \infty$

❷ เปลี่ยน L เป็นลวดตัวนำ เปลี่ยน C เป็นฉนวนไฟฟ้า

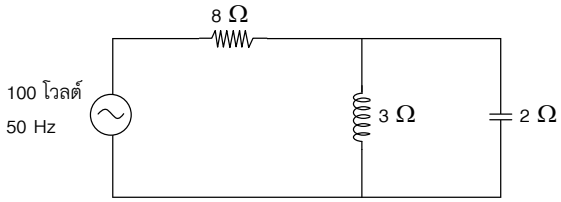
ตัวอย่าง จงหากระแสที่ไหลออกจากเซลล์ไฟฟ้า



9. กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้าปรากฏ	S	VA
2	กำลังไฟฟ้าจริง	P	Watt
3	กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ	Q	VAR
4	ตัวประกอบกำลัง	$\cos\phi$	-

ตัวอย่าง จงหากำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน , กำลังไฟฟ้าปรากฏ , กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ(กำลังไฟฟ้าเสมือน) และตัวประกอบกำลังของวงจรในรูป



23. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

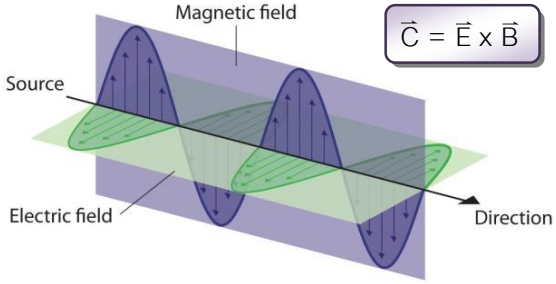
1. ความรู้ทั่วไป

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ระยะทาง	S	m
2	เวลา	t	sec
3	ความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	v	m/s
4	ความยาวคลื่น	λ	m
5	ความถี่	f	Hz
6	คาบเวลา	T	Hz^{-1}
7	ค่าคงที่ของพลังค์	h	6.6×10^{-34} J.s
8	สนามแม่เหล็ก	B	T
9	สนามไฟฟ้า	E	V/m

❶ เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า

❷ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอย่างต่อเนื่อง เกิดพร้อมกัน สูงสุด ต่ำสุด พร้อมกัน หรือ เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วงจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

❸ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(C) จึงประกอบด้วยสนามไฟฟ้า(E) และสนามแม่เหล็ก(B) ที่มีการสั่นตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย



$$\vec{C} = \vec{E} \times \vec{B}$$

❹ สมบัติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. เป็นคลื่นตามขวาง

$$v = \frac{S}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \qquad f = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}$$

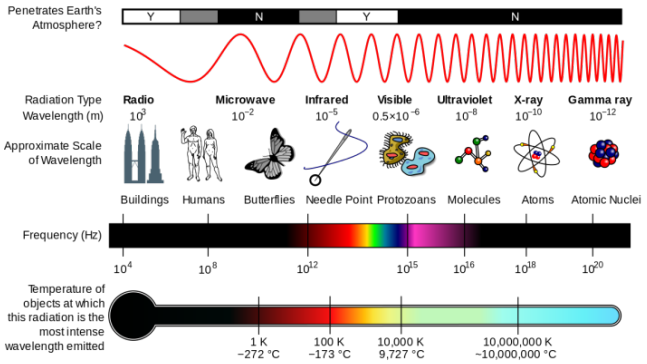
2. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่
3. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ 3×10^8 m/s
4. มีพลังงาน และถ่ายเทจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้โดยการแผ่รังสี

$$\Delta E^{J} = hf = h\frac{C}{\lambda}$$

5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร
6. ไม่มีประจุไฟฟ้า
7. สามารถแสดงสมบัติคลื่นได้ทุกข้อ แทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

2. สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

❶ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแยกออกมาได้ 7 สเปกตรัม คือ



❷ ทุกสเปกตรัมมีอัตราเร็วเท่ากันในตัวกลางเดียวกัน เช่น ในอากาศ หรือสุญญากาศ จะมีความเร็วเท่ากับ 3×10^8 m/s

3. คลื่นวิทยุ

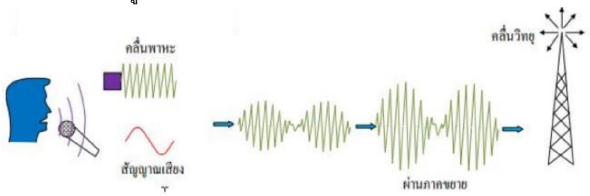
❶ มีความยาวคลื่นมากที่สุด ความถี่ต่ำสุด พลังงานต่ำสุด

❷ สะท้อนกับในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้(A.M.) จึงถูกนำมาใช้ในการสื่อสาร

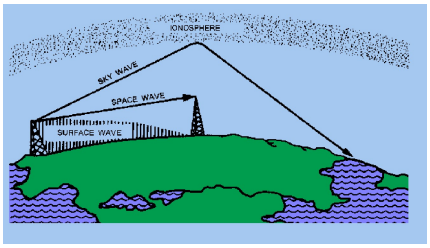
❸ คลื่นวิทยุมีการส่งสัญญาณ 2 ระบบคือ

☝ ระบบเอเอ็ม (A.M. = amplitude modulation) 530 – 1600 kHz

- A.M. = Sound wave + Radio wave(คลื่นพาหะ)
- แอมปลิจูดคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตาม Sound wave



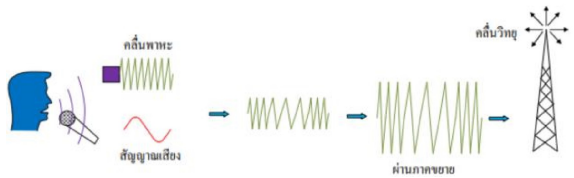
- A.M. ส่งคลื่นได้ทั้ง
  คลื่นดิน → ขนานกับผิวโลก และ
  คลื่นฟ้า → คลื่นจะไปสะท้อน ที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



- ข้อดี : สื่อสารได้ไกลเป็นพัน ๆ กิโลเมตร (คลื่นฟ้า)
  ข้อเสีย : ถูกรบกวนง่าย

☝ ระบบเอฟเอ็ม (F.M. = frequency modulation) 88 – 100 MHz

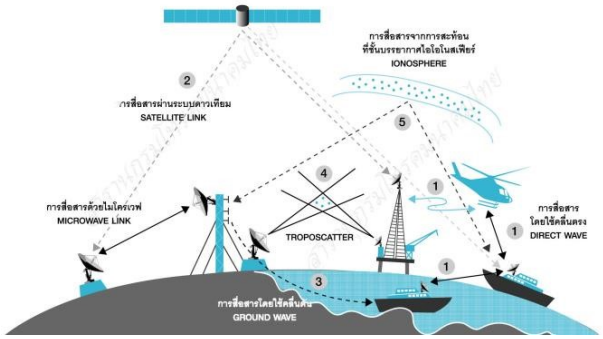
- F.M. = Sound wave + Radio wave(คลื่นพาหะ)
- ความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตาม sound wave



- F.M. ส่งคลื่นได้เฉพาะคลื่นดินอย่างเดียว ถ้าต้องการส่งให้คลุมพื้นที่ต้องมีสถานีถ่ายทอดและเครื่องรับต้องตั้งเสาอากาศสูง ๆ รับ
- ข้อดี : ถูกรบกวนได้ยาก
  ข้อเสีย : สะท้อนบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้น้อยมาก(ทะลุ) จึงต้องใช้สถานีถ่ายทอดเป็นระยะๆ (คลื่นดิน)

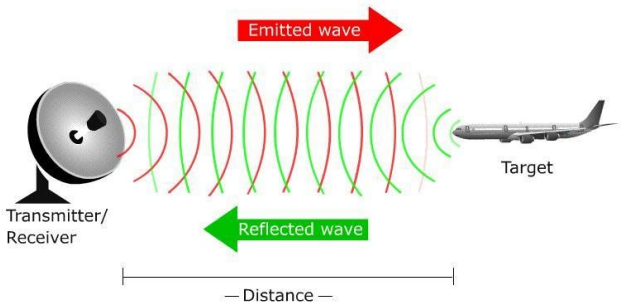
4. คลื่นโทรทัศน์

❶ ความถี่ประมาณ 10^8 เฮิรตซ์
❷ จะไม่สะท้อนที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุ ผ่านออกไปนอกโลก
❸ การส่งคลื่น โทรทัศน์ไปไกลๆ ในแนวเส้นตรงบน ผิวโลกนั้น จะถูกส่วนโค้งของโลกบังไว้จึงต้องใช้สถานีถ่ายทอดคลื่นเป็นระยะๆ รับคลื่น โทรทศน์จากสถานีส่งมาในแนวเส้นตรง แล้วขยายให้สัญญาณแรงขึ้นก่อนที่จะส่งไปยังสถานีที่อยู่ถัดไป
❹ อาจใช้คลื่นไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียมแล้วส่งคลื่นต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกลๆ ได้



5. คลื่นไมโครเวฟ

❶ ความถี่ 1 GHz ถึง 300 GHz
❷ ไม่สะท้อนที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุ ผ่านออกไปนอกโลก
❸ ใช้ทำให้อาหารสุก เพราะถูกดูดกลืนด้วยน้ำได้ดี
❸ สะท้อนกับผิวโลกะได้ดีจึงใช้ในการตรวจหาอากาศยาน ตรวจจับอัตราเร็วของรถยนต์ เรียกว่า เรดาร์



6. คลื่น(รังสี) อินฟาเรด

❶ กำเนิดจากแหล่งกำเนิดความร้อนทุกชนิด เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์สามารถรับรังสีอินฟราเรดได้
❷ บางครั้ง เรียกว่า รังสีความร้อน
❸ ความถี่ 10^{11} – 10^{14} เฮิรตซ์
❹ สิ่งมีชีวิตจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา
❺ คาร์บอนไดออกไซด์ , ไอน้ำ ในบรรยากาศดูดซับไว้ ทำให้โลกอุ่น
❻ ใช้ถ่ายภาพพื้นโลกจาก ดาวเทียม เพราะทะลุผ่านเมฆหมอกที่หนาได้ดีกว่าแสง
❼ ใช้ในระบบควบคุม รีโมทคอนโทรล หรือ การควบคุมระยะไกล
❽ ใช้เป็นพาหะในการส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงเพื่อป้องกันการรบกวน

7. แสงที่ตามองเห็น

❶ ความถี่ ≈ 10^{14} เฮิรตซ์ หรือความยาวคลื่น 400 – 700 nm
❷ ประสาทตาของมนุษย์ไวต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงนี้มากที่สามารถมองเห็นได้
❸

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

❹ LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
= "การขยายสัญญาณแสงโดยการปล่อยรังสีแบบเร่งเร้า"

8. อัลตร้าไวโอเลต

❶ ความถี่ 10^{15} – 10^{18} Hz บางทีก็เรียกว่า รังสีเหนือม่วง
❷ ส่วนใหญ่มาจากดวงอาทิตย์ แต่โดนสกัดจากบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ซึ่งมีแก๊สโอโซนเป็นองค์ประกอบ ถ้าโอโซนถูกทำลายรังสีอัตราไวโอเลตแผ่ลงมายังผิวโลกมากขึ้น ก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง
❸ เป็นตัวการทำให้เกิดประจุอิสระ และไอออน ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (เพราะรังสีอัลตราไวโอเลต มีพลังงานสูงพอที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลอากาศ พบว่าในไอโอโนสเฟียร์มีโมเลกุลหลายชนิด เช่น โอโซน ซึ่งสามารถกั้นรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี)
❹ ทำให้สารเรืองแสง เกิดการเรืองแสง
❺ สามารถทะลุผ่านวัตถุบาง ๆ บางชนิดได้
❻ ทำลายเซลล์เล็ก ๆ บางชนิดได้ เช่น เชื้อโรค รักษาโรคผิวหนัง

9. รังสีเอ็กซ์

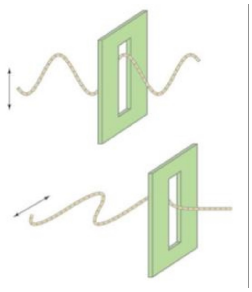
❶ ความถี่ในช่วง 10^{16} – 10^{21} Hz
❷ แหล่งกำเนิดของรังสีเอกซ์ คือ ดวงอาทิตย์ หลอดรังสีเอกซ์เครื่องรับโทรทัศน์
❸ คุณสมบัติของรังสีเอกซ์
3.1 มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
3.2 ทำให้แก๊สหรืออากาศรอบ ๆ แตกตัวเป็นไอออนได้
3.3 ทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสง
3.4 ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์มถ่ายรูปเหมือนกับแสง
3.5 รังสีเอกซ์มีอันตรายและทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้
3.6 ตรวจหารอยร้าวภายใน ชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่
3.7 ใช้ตรวจหาอาวุธปืน วัตถุระเบิด

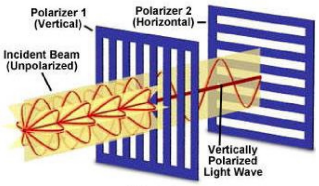
10. รังสีแกมมา

❶ ความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์
❷ แหล่งกำเนิดของรังสีแกมมา คือ การสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี
❸ รังสีคอสมิกที่มาจากนอกโลกจะมีรังสีแกมมาอยู่ด้วย
❹ การแผ่รังสีของอนุภาคประจุไฟฟ้าที่ถูกเร่งในเครื่องเร่งอนุภาค ก็ทำให้เกิดรังสีแกมมาได้
❺ ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์มถ่ายรูป และฟิล์มที่ไม่ไวต่อแสง

11. ปรากฏการโพลาไรเซชัน

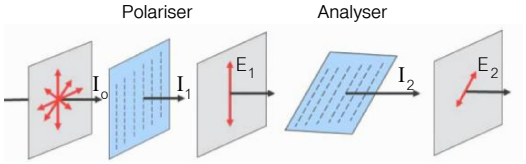
❶ คลื่นตามขวางเท่านั้นที่สามารถเกิด "ปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน" ได้
❷ แสงจากดวงอาทิตย์ มีระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้า(E) หลายระนาบ เรียกว่า แสงไม่โพลาไรซ์





❸ การทำให้แสงมีระนาบสนามไฟฟ้าเหลือเพียง 1 ระนาบ เรียก แสงโพลาไรซ์
❹ แสงโพลาไรซ์ สามารถทำได้ 3 วิธี คือ ...

✍ โดยการดูดกลืน

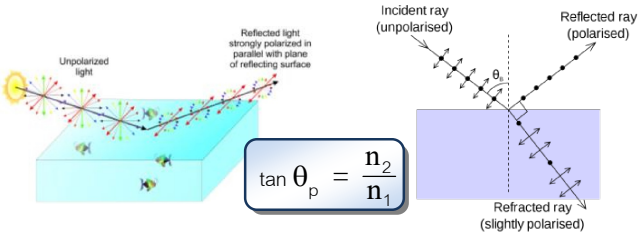


$$I_1 = \frac{I_o}{2}$$

$$I_2 = I_1 \cos^2\theta$$

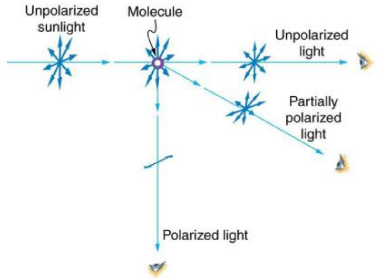
$$E_2 = E_1 \cos\theta$$

✍ ใช้การสะท้อน



$$\tan\theta_p = \frac{n_2}{n_1}$$

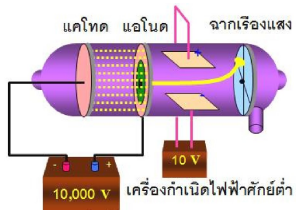
✍ การกระเจิงของแสง

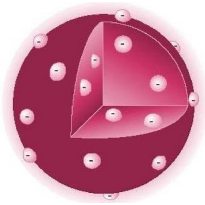


24. ฟิสิกส์อะตอม

1. การค้นพบอิเล็กตรอน(ทอมสัน) และ การหาค่าประจุของอิเล็กตรอน(มิลิแกน)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ประจุอิเล็กตรอน	e	1.6×10^{-19} C คูลอมบ์
2	มวล	m	kg กิโลกรัม
3	รัศมีการโคจร	r	m เมตร
4	อัตราเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
5	ประจุไฟฟ้า	q	C คูลอมบ์
6	สนามแม่เหล็ก	B	T เทสลาร์
7	สนามไฟฟ้าฟ้า	E	N/C นิวตัน/คูลอมบ์
8	แรงไฟฟ้า	F_E	N นิวตัน
9	แรงแม่เหล็ก	F_B	N นิวตัน
10	ระยะห่างระหว่างแผ่นขนาน	d	m เมตร
11	ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำ //	V	Volt โวลต์
12	จำนวนอิเล็กตรอน	n	-





❶ "ทอมสัน" เป็นคนแรกที่ "ค้นพบ" และหาค่า "ประจุต่อมวล" ของอิเล็กตรอน

❷ "รังสีแคโทด" คือ "ลำของอิเล็กตรอน"

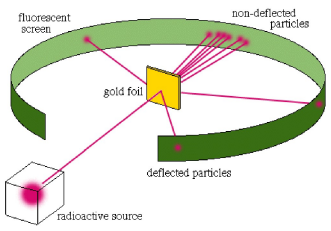
❸ อาศัยความรู้จากบท แม่เหล็กไฟฟ้า
หัวข้อ 3 : $r = mv/qB$ เมื่อ $q = e$
และ หัวข้อ 4 : $F_E = F_B \rightarrow v = E/B \rightarrow v = V/Bd$
จัดรูปได้ q/m คือ ...

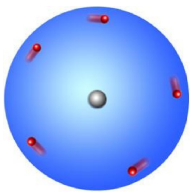
$$\frac{e}{m} = \frac{V}{r B^2 d}$$

❹ "มิลลิแกน" เป็นคนแรกที่รู้ "ค่าประจุอิเล็กตรอน" และใช้ความรู้บทที่ 19 เรื่อง ไฟฟ้าสถิต หัวข้อที่ 10 (กรณีลอยนิ่ง) เพื่อหาประจุของ e

❺ แบบจำลองอะตอมของทอมสัน ขัดแย้งกับ "การกระเจิงของ α-ray"

2. การกระเจิงของรังสีอัลฟา(รัทเทอร์ฟอร์ด)





❶ รัทเทอร์ฟอร์ด เห็น..
- α-ray ส่วนใหญ่ทะลุผ่าน → สรุป "พื้นที่ส่วนใหญ่ในอะตอมเป็นที่ว่าง"
- α-ray บางส่วนเบี่ยงเบน และน้อยมากที่จะสะท้อนกลับ
→ สรุป "อะตอมมีนิวเคลียสขนาดเล็กแต่หนักมาก และมีประจุบวก

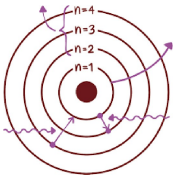
❷ แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ขัดแย้งกับ "ทฤษฎี EMW ของแม็กเวลล์" จากบทที่ผ่านมา..."q เคลื่อนที่ด้วย a จะเสียพลังงานในรูป EMW"

3. อะตอมไฮโดรเจน(โบร์)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	โมเมนตัมเชิงมุม	L_n	$kg.m^2/s$
2	มวลอิเล็กตรอน	m_e	kg
3	ความเร็วอิเล็กตรอน	v_n	m/s
4	รัศมีวงโคจร	r_n	M
5	ค่าคงที่ของพลังค์	h	6.6×10^{-34}
6	พลังงานที่อะตอมดูด(คาย)	ΔE	J,eV
7	พลังงาน(รวม)ของอะตอม	E_n	J,eV
8	ระดับวงโคจร(เลขควอนตัม)	n	-
9	พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน	E_k	J,eV
10	พลังงานศักย์ไฟฟ้าของอะตอม	E_p	J,eV

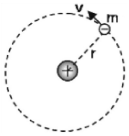
❶ Atomic model ของโบร์ พัฒนามาจาก รัทเทอร์ฟอร์ด

❷ โบร์เสนอสมมุติฐาน 2 ข้อ เพื่อไม่ให้ขัดแย้งกับทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแม็กเวลล์ ดังนี้

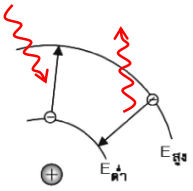


ข้อ 1 อิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสจะไม่สูญเสียพลังงาน เพราะเคลื่อนที่ใน "ชั้นวงโคจรพิเศษ" ที่มี "โมเมนตัมเชิงมุมคงที่"

$$L_n = m_e v_n r_n = n\bar{h} \; ; \; \bar{h} = \frac{h}{2\pi}$$



ข้อ 2 "อะตอมมีพลังงานเป็นค่าๆ ไม่ต่อเนื่อง" โดยอะตอมสามารถ "ดูด" และ "คาย" พลังงานในรูปของ "สเปกตรัม" ได้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับวงโคจรของอิเล็กตรอน



$$\Delta E = |E_{หลัง} - E_{แรก}|$$

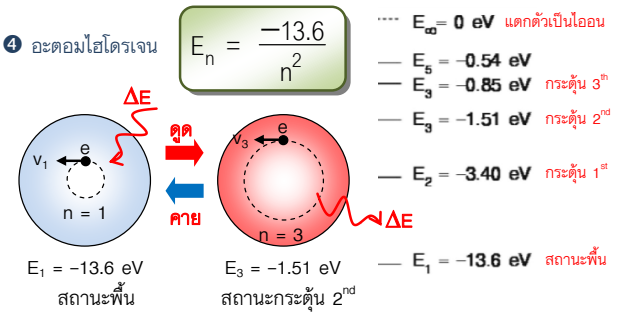
❸ พลังงานรวมของอะตอม ณ ขณะที่ e โคจรในชั้นวงที่ n

$$E_n = E_k + E_p = \frac{E_1}{n^2}$$
$$(-x) = (x) \quad (-2x)$$

*** E_n ติดลบเสมอ

❹ อะตอมไฮโดรเจน

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



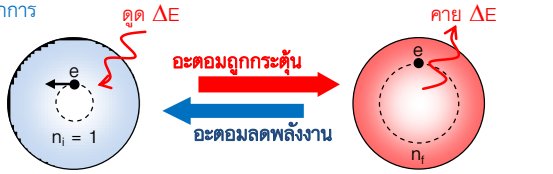
❺
$$\Delta E^{J} = hf = h\frac{c}{\lambda} \qquad \Delta E^{eV} \approx \frac{1240}{\lambda^{nm}}$$

❻
$$r_n \; \alpha \; n^2 \qquad v_n \; \alpha \; \frac{1}{n}$$

4. อนุกรมสเปกตรัมอะตอมไฮโดรเจน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ค่าคงที่ริดเบิร์ก	R_h	1.09737×10^7
2	ระดับพลังงานก่อนการกระตุ้น	n_i	-
3	ระดับพลังงานหลังการกระตุ้น	n_f	-
4	ความยาวคลื่น	λ	$m^{\text{เมตร}}$, nm
5	ผลต่างพลังงาน	ΔE	eV

❶ หลักการ



สถานะก่อนกระตุ้น(เสถียร) สถานะหลังกระตุ้น(ไม่เสถียร)

❸ อะตอมคายพลังงานออกมาในรูป EMW = สเปกตรัม = เส้นแสง
เพื่อให้อะตอมกลับมาเสถียรตามเดิม
หลัก "อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากชั้นใด มันจะกลับมาชั้นเดิม"

❹ อนุกรมสเปกตรัมของ H มีทั้งหมด 5 อนุกรม ดังนี้

Lyman : กระตุ้น e^- จาก 1 แล้ว e^- พยายามกลับชั้น 1
Balmer : กระตุ้น e^- จาก 2 แล้ว e^- พยายามกลับชั้น 2
Pashen : กระตุ้น e^- จาก 3 แล้ว e^- พยายามกลับชั้น 3
Bracket : กระตุ้น e^- จาก 4 แล้ว e^- พยายามกลับชั้น 4
Pfund : กระตุ้น e^- จาก 5 แล้ว e^- พยายามกลับชั้น 5

❺ สูตรหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่คายออกมา

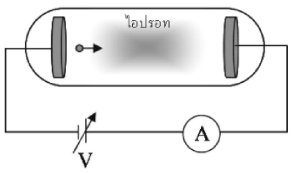
$$\frac{1}{\lambda^m} = R_h\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad \lambda^{nm} \approx \frac{1240}{\Delta E^{eV}}$$

❻ λ_{Lyman} : Ultraviolet λ_{Balmer} : Visible light $\lambda_{Phshen,Bracket,Pfund}$: Infared

❼ keyword :

5. การทดลองของฟรังก์และเฮิรตซ์

❶ ทดลองเพื่อสนับสนุน "โบร์"
ว่า **"พลังงานของอะตอมมีเป็นค่าๆ"**



❷ โดยการเร่ง e เข้าไปชนกับ
"อะตอมไอปรอท"

❸ จากบทที่ 19 ไฟฟ้าสถิต หัวข้อ 16 พบว่า..

- ถ้าเร่ง e ด้วย V = 3 โวลต์ แล้ว e ก็จะมี E_k = 3 eV ด้วย
- ถ้าเร่ง e ด้วย V = 4.9 โวลต์ แล้ว e ก็จะมี E_k = 4.9 eV ด้วย
- ถ้าเร่ง e ด้วย V = 6 โวลต์ แล้ว e ก็จะมี E_k = 6 eV ด้วย

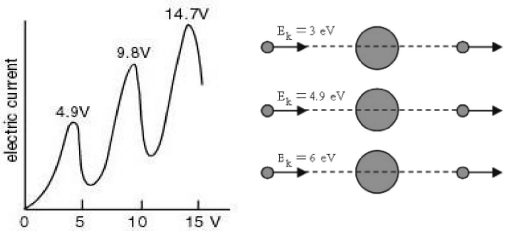
❹ การชนระหว่าง e^- กับ อะตอมไอปรอท จะมี 2 ลักษณะ คือ

♂ แบบยืดหยุ่น → e^- ไม่เสียพลังงาน → I_{up}

♀ แบบไม่ยืดหยุ่น → e^- เสียพลังงาน → I_{down} → $V^{1\,st}$ = 4.9 Volt

❺ หลักการ คือ "ไม่พอไม่รับ เหลือคืน"

❻ ต้องตอบให้ได้ว่า 4.9 eV คือ E_n หรือ ΔE



6. ทวิภาคระหว่างคลื่นกับอนุภาค

❶ แต่ก่อน **อนุภาค ≠ คลื่น** ตอนนี้ **อนุภาค = คลื่น**

❷ **คลื่น → อนุภาค** : ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกซ์ และ คอมพ์ตัน

❸ **อนุภาค → คลื่น** : การเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน และ λ เดอร์บรอยด์

7. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกซ์(ทฤษฎี)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนโฟตอน	n_{pho}	อนุภาค
2	จำนวนโฟโตอิเล็กตรอน	n_e	อนุภาค
3	กระแสไฟฟ้าในวงจร	I	A
4	ความเข้มแสง	I_{pho}	W/m^2
5	ความถี่แสง	f_{pho}	Hz
6	พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กฯ	E_k	J
7	พลังงานโฟตอน	E_{pho}	J
8	ความต่างศักย์หยุดยั้ง	Vs	V

❶ $I \alpha n_e \alpha n_{pho} \alpha I_{pho}$

❷ $V_s \alpha E_k \alpha E_{pho} \alpha f_{pho}$

❸ **แสงจ้า คือ แสงที่มี I_{pho} สูง , แสงสีม่วง คือ แสงที่มีความถี่สูง**

8. การคำนวณปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกซ์

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ฟังก์ชันของงาน(พลังงานยึดเหนี่ยว)	W	J , eV
2	ความยาวคลื่นแสง	λ_{pho}	$m^{\text{เมตร}}$, nm
3	ความถี่ขีดเริ่ม	f_o	Hz, รอบ/วินาที

J

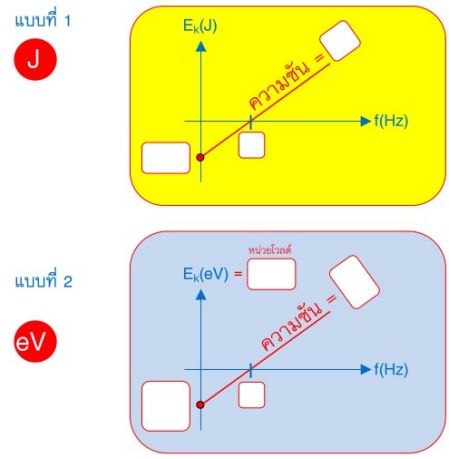
$h f_{pho}$ $h \frac{C}{\lambda_{pho}}$ $h f_o$ $h \frac{C}{\lambda_o}$

$$E_{pho} = W + E_k$$

eV

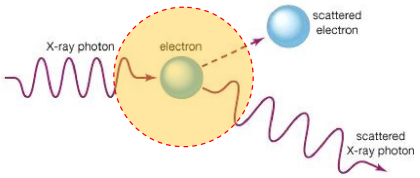
$h \frac{f_{pho}}{e}$ $h \frac{C}{e\lambda_{pho}}$ $\approx \frac{1240}{\lambda_{pho}}$ $h \frac{f_o}{e}$ $h \frac{C}{e\lambda_o}$ $\approx \frac{1240}{\lambda_o}$ V_s

9. กราฟปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกซ์



10. ปรากฏการณ์คอมพ์ตัน

จากการยิงรังสีเอกซ์เข้าชนกับ e^- ในผลึกของแกรไฟต์ แล้ววัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาที่มุมต่างๆ พบว่า ความยาวคลื่นของ X-Ray ที่กระเจิงออกมามี 2 แบบ

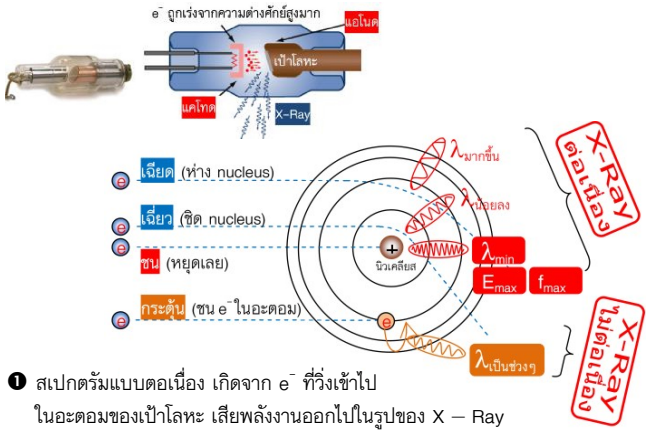


❶ $\lambda_{กระเจิง} = \lambda_{ตกกระทบ} \rightarrow f_{กระเจิง} = f_{ตกกระทบ} \rightarrow E_{กระเจิง} = E_{ตกกระทบ}$
แสดงว่า เกิดการชนแบบไม่สูญเสียพลังงาน หรือ ชนแบบยืดหยุ่น

❷ $\lambda_{กระเจิง} > \lambda_{ตกกระทบ} \rightarrow f_{กระเจิง} < f_{ตกกระทบ} \rightarrow E_{กระเจิง} <= E_{ตกกระทบ}$
แสดงว่า เกิดการชนแบบสูญเสียพลังงาน หรือ ชนแบบไม่ยืดหยุ่น

11. รังสีเอ็กซ์(X-Ray)

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความต่างศักย์ที่ใช้เร่ง e^-	V	Volt
2	ความยาวคลื่นต่ำสุด	λ_{min}	m เมตร, nm



❶ สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง เกิดจาก e^- ที่วิ่งเข้าไปในอะตอมของเป้าโลหะ เสียพลังงานออกไปในรูปของ X – Ray ได้ 2 แบบ คือ
- เฉียด/เฉี่ยว
- ชนนิวเคลียส(หยุดทันที)

$$\lambda_{min} \approx \frac{1240}{V}$$

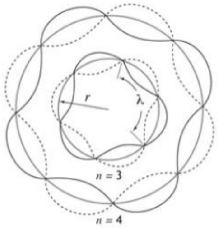
❷ สเปกตรัมแบบเส้น=ไม่ต่อเนื่อง (ขึ้นกับชนิดของเป้า)
เกิดจาก e^- ไปกระตุ้นอะตอมโดยชนกับ e^- ในอะตอม เปลี่ยนระดับพลังงาน

12. สมมุติฐานของเดอเบรย

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความยาวคลื่นเดอบรอยด์	λ_D	m เมตร
2	ค่าคงที่ของพลังค์	h	6.6×10^{-34} J.s
3	มวล	m	kg กิโลกรัม
4	ความเร็ว	v	m/s เมตร/วินาที
5	พลังงานจลน์	E_k	J จูล
6	โมเมนตัม	P	kg.m/s

❶ "ไอสไตล์" : $E = mc^2$ และ "กลศาสตร์ควอนตัม" : $E = hf$

❷ จากข้อ ❶ พบว่า e ทำตัวเหมือนคลื่นนิ่ง จึงทำให้ e^- ไม่สูญเสียพลังงาน และมีโมเมนตัมเชิงมุม ดังสมการ



$$L_n = m_e v_n r_n = n\bar{h} \; ; \; \bar{h} = \frac{h}{2\pi}$$

❸ จำนวนลูกคลื่น จะมีค่าเท่ากับเลขระดับพลังงาน หรือเลขควอนตัม
เช่น e อยู่ชั้นที่ 1 จะมีคลื่นนิ่ง 1 ลูก หรือ 2 บัพ
e อยู่ชั้นที่ 2 จะมีคลื่นนิ่ง 2 ลูก หรือ 4 บัพ

❹ สูตรการหา "ความยาวคลื่นเดอร์บลอยล์" คือ

$$\lambda_D = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$

13. กลศาสตร์ควอนตัมและหลักความไม่แน่นอน

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ความไม่แน่นอนของการวัด ตน.	Δx	m เมตร
2	ความไม่แน่นอนของโมเมนตัม	ΔP	kg.m/s กิโลกรัม

❶ กลศาสตรควอนตัมมีจุดกำเนิดมาจากกลศาสตรนิวตัน แต่กลศาสตรนิวตันไม่สามารถอธิบายบางอย่างได้ เช่น การแผ่รังสีของวัตถุดำ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกซ์ รังสีเอกซ กัมมันภาพรังสี เป็นต้น

❷ กลศาสตรควอนตัมอธิบายอะตอมได้ดีกว่าและมีขอบเขตที่กว้างขวาง กว่าทฤษฎีอะตอมของโบรมาก นักวิทยาศาสตรจึงให้การยอมรับสง ผลให้แนวคิดของกลศาสตรควอนตัมได้รับการยอมรับจนถึงปัจจุบัน

❸ หลักความไม่แน่นอน
" ในธรรมชาติของการวัดยอมมีความไม่แนนอนที่เกิดจากอันตรกิริยาระหวางเครื่องมือวัดและระบบแฝงอยู่เสมอ เชนเราไม่สามารถวัดตำแหนงและโมเมนตัมของระบบให้แนนอนพรอมกันได้และผลคูณของความไม่แนนอนของการวัดตำแหนงและโมเมนตัมจะมีคาไมนอยกวาคาคงตัวของพลังค"

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

25. ฟิสิกส์นิวเคลียร์

1.สัญลักษณ์นิวเคลียส,ไอโซโทป,ไอโซโทน,ไอโซบาร์

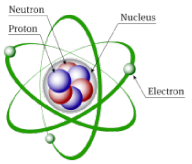
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนโปรตอน	N_p	อนุภาค
2	จำนวนนิวตรอน	N_n	อนุภาค
3	จำนวนอิเล็กตรอน	N_e	อนุภาค
4	เลขอะตอม	Z	อนุภาค,-
5	เลขมวล	A	อนุภาค,-

$A = N_p + N_n$

$Z = N_p$

$A - Z = N_n$

${}^{A}_{Z}X$



❶ สัญลักษณ์นิวเคลียร์ (nuclear symbol) ใช้บอก จำนวน p และ n

❷ ไอโซโทป = p เท่า ❸ ไอโซโทน = n เท่า

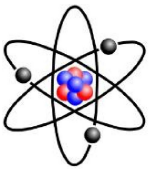
❹ ไอโซบาร์ = เลขบนเท่า ❺ ไอโซอิเล็กทรอนิก = e^- เท่า

2. รัศมีนิวเคลียส

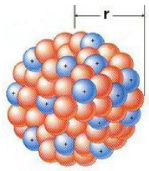
No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	รัศมีนิวเคลียส	R	m
2	ค่าคงที่(1.2 ถึง 1.5 x 10^{-15})	r_o	m
3	เลขมวล	A	อนุภาค , -

❶ นิวเคลียสของอะตอมจะมีลักษณะ เป็นทรงกลม ภายในนิวเคลียสจะประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน ที่รวมกันเรียกว่า นิวคลีออน

❷ ขนาดของนิวเคลียส เป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวคลีออน ถ้าอะตอมของธาตุมีจำนวนนิวคลีออนมาก จะมีรัศมีนิวเคลียสมาก



$R = r_o \sqrt[3]{A}$



3. ธาตุกัมมันตรังสี,กัมมันตภาพรังสีและกัมมันตรังสี

❶ อองตวน อองรี เบ็กเคอเรล พบรังสีแผ่ออกมาจากธาตุยูเรเนียม หน่วย วัดกัมมันตภาพ(อัตราการสลายตัว) คือ แบ็กแรล(Bq) โดย Bq = นิวเคลียส/วินาที

❷ ต่อมา ปีแอร์ และมารี กูรี ได้จึงสรุป

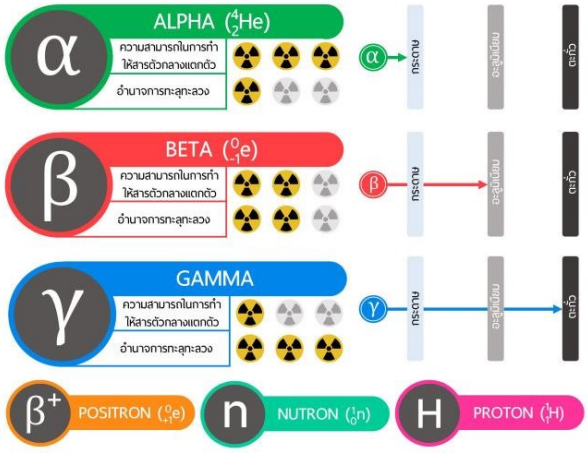
1) ธาตุกัมมันตรังสี คือ ธาตุที่แผ่รังสีได้ เพราะนิวเคลียสไม่เสถียร(A > 82)

2) กัมมันตภาพรังสี คือ ปรากฏการณ์ที่ธาตุแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่อง

3) นิวเคลียสสลายตัวเพื่อให้เกิดความเสถียร เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่เกี่ยวเนื่องกับทุกปัจจัย เช่น ความดัน หรือ อุณหภูมิ

4) 1 ci = 3.7 x 10^{10} Bq

❸ สิ่งที่ปล่อยออกมาจากการสลายตัว เรียก กัมมันตรังสี

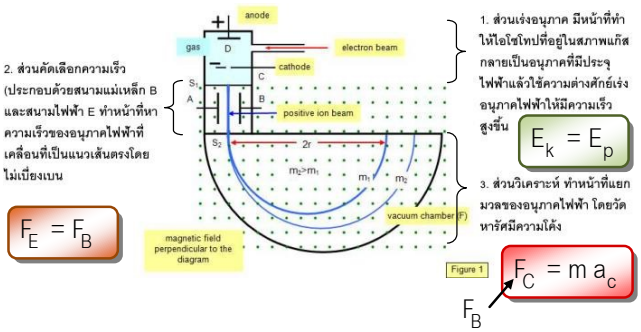


สรุป
- อำนาจทะลุทะลวงสูงสุด →
- ทำให้ตัวกลางแตกตัวเป็นไอออนดีสุด →
- ค่าประจุต่อมวลสูงสุด →
- พลังงานตั้งต้นสูงสุด →

4. เครื่องชั่งมวลอนุภาค

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	มวล	m	kg
2	ความต่างศักย์สำหรับเร่งอนุภาค	V	V
3	ความเร็ว	v	m/s
4	ประจุ	q	C
5	สนามไฟฟ้า	E	N/C , V/m
6	สนามแม่เหล็ก	B	T
7	รัศมี(การเคลื่อนที่แบบวงกลม)	R	m
8	พลังงานศักย์ไฟฟ้า	E_p	J
9	พลังงานจลน์	E_k	J
10	แรงไฟฟ้า	F_E	N
11	แรงแม่เหล็ก	F_B	N
12	แรงสู่ศูนย์กลาง	F_c	N

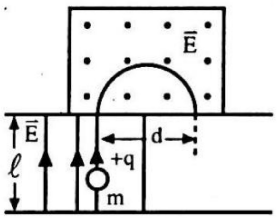
❶ แมสสเปกโทรมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ **วิเคราะห์มวล** ของธาตุต่างๆ โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ส่วนประกอบที่สำคัญของแมสสเปกโทรมิเตอร์ คือ **ส่วนเร่งอนุภาค ส่วนคัดเลือกความเร็ว** และ **ส่วนวิเคราะห์**



❷ สูตรที่ต้องทราบในการคำนวณแต่ละส่วน

- ส่วนเร่งอนุภาค $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ $E_p = qV$ $V = Ed$
- ส่วนคัดความเร็ว $F_E = qE$ $E = \frac{V}{d}$ $F_B = qvB$
- ส่วนวิเคราะห์มวล $F_c = ma_c$ $F_B = qvB$ $a_c = \frac{v^2}{r}$

ตัวอย่างที่ 1 อนุภาคมวล m มีประจุ +q ถูกเร่งให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่งในแนวราบด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ E เป็นระยะทาง l แล้วผ่านเข้าสู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับทิศทางของสนาม E ปรากฏว่า อนุภาคจะไปตกที่ระยะห่างจากจุดที่เข้าไปในสนามแม่เหล็ก เป็นระยะ d ดังรูป จงหาค่ามวลของอนุภาคนี้ โดยไม่ต้องคิดแรงโน้มถ่วงของโลก(ตอบในติดตัวแปรที่กำหนดให้)



5. การสลายตัวของนิวเคลียส

รัทเทอร์ฟอร์ดและซอดดี เสนอ **สมมติฐานการสลายของธาตุกัมมันตรังสี** ดังนี้

❶ ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายตัวให้ธาตุใหม่ โดยปล่อย α , β ได้

ธาตุใหม่ → เสถียร = stop , ไม่เสถียร = สลายต่อ

❷ **การสลายของธาตุกัมมันตรังสีไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมภายนอกนิวเคลียส** เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น

❸ การสลายจะเป็นไปตามหลักสถิติความน่าจะเป็น หมายถึง **ทุกนิวเคลียสของธาตุนั้นมีโอกาสสลายตัวได้เท่าๆ กัน**

❹ หลัก $\Sigma A_{\text{ก่อนสลายตัว}} = \Sigma A_{\text{หลังสลายตัว}}$

$\Sigma Z_{\text{ก่อนสลายตัว}} = \Sigma Z_{\text{หลังสลายตัว}}$

ตัวอย่างที่ 1 ในการสลายตัวต่อๆ กันของธาตุกัมมันตรังสี โดยเริ่มจาก $^{238}_{92}U$ เมื่อสลายให้อนุภาคทั้งหมดเป็น 2α, $2\beta^-$ และ 2γ จะทำให้ได้นิวเคลียสใหม่ มีจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนเท่าใด

ตัวอย่างที่ 2 นิวเคลียส $^{210}_{82}Pb$ สลายตัวสู่ไอโซโทปเสถียรตามลำดับดังนี้

$$^{210}_{82}Pb \xrightarrow{\beta,\gamma} X \xrightarrow{\beta} Y \xrightarrow{\alpha,\gamma} Z$$

จำนวนนิวตรอนในไอโซโทปเสถียร Z เป็นเท่าไร

6. การคำนวณปริมาณการสลายตัว

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	ปริมาณเริ่มต้น	*เริ่ม*	K , kg , นิวเคลียส
2	ปริมาณที่เหลือ	*เหลือ*	K , kg , นิวเคลียส
3	เวลาที่ผ่านไป	t	เวลา
4	เวลาครึ่งชีวิต	T	เวลา
5	ค่าคงที่การสลายตัว	λ	1/เวลา

❶ **เวลาครึ่งชีวิต** คือ **ระยะเวลาธาตุที่สารสลายตัวไปจนเหลือครึ่งหนึ่งของเดิม**

❷ การสลายตัวเป็นไปตามสมมติฐาน ของรัทเทอร์ฟอร์ดและซอดดี (Soddy)

❸ **อัตราการสลายตัว ผันตรงกับ จำนวนนิวเคลียสขณะนั้น**

❹ $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

$$\text{เหลือ} = \text{เริ่ม} \cdot e^{-\lambda t}$$
$$= \text{เริ่ม} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

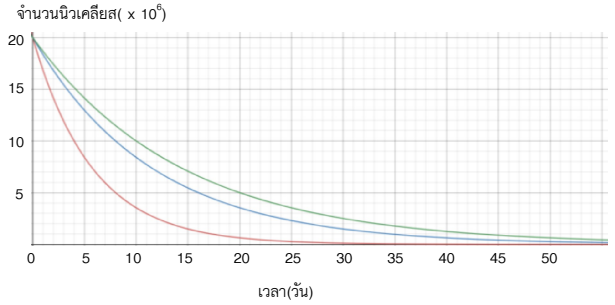
ตัวอย่างที่ 1 ในการสำรวจแหล่งแร่แห่งหนึ่ง พบสารกัมมันตรังสีมวล 1,800 กรัม ก้อนหนึ่ง และเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงจะเหลือมวล 1,350 กรัม อยากทราบว่าในอดีต 2 ชั่วโมงก่อนที่จะพบสารกัมมันตรังสีก้อนนี้ สารก้อนนี้มีมวลเท่าไร

ตัวอย่างที่ 2 ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีมวล 400 กรัม ที่เวลา 9.00 น. เมื่อถึงเวลา 10.00 น. จะเหลือมวลเพียง 200 กรัม ถ้า $m = m_0e^{-\lambda t}$ แล้ว ธาตุกัมมันตรังสีนี้จะมีมวลกี่กรัมที่เวลาเที่ยงวัน (12.00 น.) โดยที่ m_0 เป็นมวลของธาตุกัมมันตภาพรังสีขณะที่เริ่มต้นพิจารณา และ m เป็น มวลของธาตุกัมมันตภาพรังสีที่เวลา t ใดๆ นับจากเริ่มต้นที่พิจารณา

ตัวอย่างที่ 3 ไอโซโทปของโซเดียม ($^{24}_{11}Na$) มีครึ่งชีวิต 15 ชั่วโมง จงหาว่าเวลาผ่านไป 75 ชั่วโมง นิวเคลียสของไอโซโทปนี้จะสลายไปแล้วประมาณกี่เปอร์เซ็นต์ของจำนวนที่ตั้งต้น ถ้าตอนที่เริ่มแรกนิวเคลียสของไอโซโทปนี้มีค่า 5 คูรี

7. กราฟการสลายตัว

ตัวอย่างที่ 1 จากการสลายตัวของธาตุ A , B , C จงหาปริมาณเริ่มต้น ครึ่งชีวิต และค่าคงที่การสลายตัวของธาตุทั้งสาม



8. การสลายตัว ≈ โยนลูกเต๋า

$$\lambda = \frac{\text{หน้า.คัดออก}}{\text{หน้า.ทั้งหมด}}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\text{เหลือ} = \text{เริ่ม} \cdot e^{-\lambda t}$$

$$= \text{เริ่ม} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

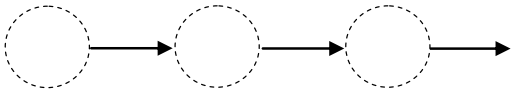
ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองอุปมาอุปมัยการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี โดยการโยนลูกเต๋าแล้วคัดหน้าที่ไม่แต้มสีออกไป ถ้าลูกเต๋ามี 6 หน้า มีหน้าที่แต้มสี 2 หน้า และมีจำนวน 90 ลูก จงหาว่าถ้าทำการโยนลูกเต๋าทั้งหมด 2 ครั้ง โดยสถิติจะเหลือจำนวนลูกเต๋าเท่าใด

1. 10 ลูก
2 30 ลูก
3 40 ลูก
4 56 ลูก

ตัวอย่างที่ 2 ลูกเต๋าพิเศษมี 14 หน้า แต่ละหน้ามีหมายเลข 1 ถึง 14 เขียนไว้ เริ่มต้นโยนลูกเต๋านี้ จำนวน 1,000 ลูก พร้อมกัน และคัดลูกที่ออกเลข 1 , 3 , 5 ออกไป แล้วนำลูกเต๋าที่เหลือมาโยนใหม่ และคัดออกโดยใช้เกณฑ์เดิม ค่าครึ่งชีวิตของลูกเต๋าจะมีค่าเท่าใด

9. กัมมันตภาพและสมดุลกัมมันตภาพ

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	กัมมันตภาพ	A	Bq
2	จำนวนนิวเคลียสขณะนั้น	N	นิวเคลียส
3	ค่าคงที่การสลายตัว	λ	1/เวลา



❶ อัตราการแผ่รังสีออกมาในขณะหนึ่ง คือ **กัมมันตภาพ(activity)**

$$A = N\lambda$$

❷ เมื่อเกิดการสลายตัวอย่างต่อเนื่อง **อัตราการสลายตัวของทุกช่วงต้องเท่ากัน**

$$A_X = A_Y = A_Z$$

10. เสถียรภาพของนิวเคลียส

No.	ชื่อ	ตัวแปร	หน่วย
1	จำนวนนิวคลีออน(p + n)	A	อนุภาค
2	พลังงานยึดเหนี่ยว	$B.E.$	MeV
3	ค่าคงที่การสลายตัว	λ	1/เวลา
4	มวลพร่อง	Δm	u

❶ **นิวเคลียส** ประกอบด้วย p(+) กับ n เรียกรวมๆ กันว่า **นิวคลีออน**

❷ **โปรตอนอยู่รวมกันได้** เพราะ **แรงนิวเคลียร์** ซึ่ง เป็นแรงที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนอนุภาคเมซอนระหว่างนิวคลีออนในนิวเคลียส

❸ **พลังงานยึดเหนี่ยว** (binding energy) คือ ***"พลังงานที่ใช้ในการยึดนิวคลีออนเข้าไว้ด้วยกันในนิวเคลียสของธาตุ"*** หรือเป็น ***"พลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้นิวเคลียสแตกตัวเป็นองค์ประกอบย่อย"***

❹ มวล 1 u = 1.6605 x 10^{-27} กิโลกรัม....จาก $E = mc^2$

มวล 1 u เทียบได้กับพลังงาน ≈ 931 MeV

❺ นิวเคลียสมี **เสถียรภาพมาก = สลายตัวยาก** ถ้ามี **B.E./A สูง**

❻ $\Delta m = m_{\text{ก่อน}} - m_{\text{หลัง}}$ $\quad B.E. = \Delta m \cdot 931$

ตัวอย่างที่ 1 ถ้าต้องการเปลี่ยนมวล 2 กิโลกรัม ให้เป็นพลังงานทั้งหมด จะได้พลังงาน

1 9 x 10^{16} จูล
2 9 x 10^{20} จูล
3. 18 x 10^{16} จูล
4 18 x 10^{20} จูล

ตัวอย่างที่ 2 ถ้านิวเคลียสของธาตุ A มีมวล 4.0020 u และนิวเคลียสของธาตุ A นี้ประกอบขึ้นด้วยโปรตอนและนิวตรอนอย่างละ 2 ตัว (มวลของโปรตอน = 1.0073 u, มวลของนิวตรอน = 1.0087 u, มวล 1u เทียบเท่ากับพลังงาน 930 MeV) พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของธาตุ A มีค่ากี่ MeV

1 2
2. 7
3 14
4 28

11. สมการนิเคลียร์

เขียนย่อ $X(a,b)Y$ เขียนเต็ม $X + a \rightarrow Y + b$

หมายถึง นิวเคลียส x ถูกกระตุ้น(ยิง) ด้วยอนุภาค a
แล้วสลายตัวได้นิวเคลียส y และ ปลดปล่อยอนุภาค b

ตัวอย่างที่ 1 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{198}_{80}Hg(n,y)^{197}_{79}Au$ ถามว่า y คืออนุภาคอะไร

1 ดิวเทอรอน
2 อนุภาคแอลฟา
3 โปรตอน
4 ทริทอน

ตัวอย่างที่ 2 X + อนุภาคนิวตรอน → Y + อนุภาคแอลฟา
↳ Z + อนุภาคบีตา

ถ้า Z ในปฏิกิริยานิวเคลียร์นี้มีเลขมวลเป็น 2 เท่าของเลขอะตอม นิวเคลียสของธาตุ X คือ อะไร

1 $^{31}_{14}Si$
2 $^{31}_{15}P$
3 $^{31}_{13}S$
4 $^{31}_{17}Cl$

12. พลังงานกับการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์

ตัวอย่างที่ 1 พิจารณาปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่อไปนี้ $^{234}_{92}U \rightarrow {}^{218}_{84}Po + 4\,{}^{4}_{2}He$

โดย $^{234}_{92}U$ มีมวล 234.11408 u $^{218}_{84}Po$ มีมวล 218.07702 u

$^{4}_{2}He$ มีมวล 4.002603 u จงหาพลังงานที่ปล่อยออกมาจากปฏิกิริยานี้

ตัวอย่างที่ 2 จงคำนวณค่าพลังงานน้อยที่สุด (ในหน่วยล้านอิเล็กตรอนโวลต์) ในการแยกเอาอนุภาคนิวตรอนหนึ่งตัวออกจากนิวเคลียสของธาตุ $^{40}_{20}Ca$

กำหนด มวล ^{40}Ca = 39.962589 u มวล ^{39}Ca = 38.970691 u

มวล $^{1}_{0}n$ = 1.008665 u

และ มวล 1 u = 930 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์

13. ฟิวชัน ฟิสชัน

❶ **ปฏิกิริยาฟิวชัน (Fision reaction)**

- ธาตุเบา + ธาตุเบา → ธาตุหนัก + พลังงาน
- เป็นปฏิกิริยาหลอมตัวของนิวเคลียสและมีพลังงานคายออกมาด้วย
- ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H + 4\ MeV$$

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

- ตัวอย่างบนดาวฤกษ์

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{+1}e + 0.4\ MeV$$

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 5.5\ MeV$$

❷ **ปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission reaction)**

- ธาตุหนัก + n → ธาตุเบา + n + n + ... + พลังงาน
- เป็นปฏิกิริยาแยกตัวของนิวเคลียสหนัก(A >230)

❸ เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่าง ฟิวชัน กับ ฟิสชัน

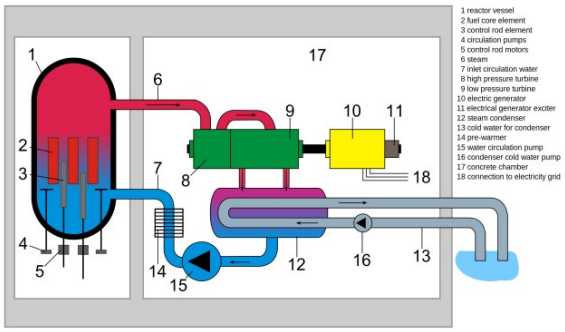
ลักษณะปฏิกิริยา : ฟิวชัน = รวม , ฟิสชัน = แยก

อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา : ฟิวชัน → $T_{สูง}$, ฟิสชัน → $T_{ปกติ}$

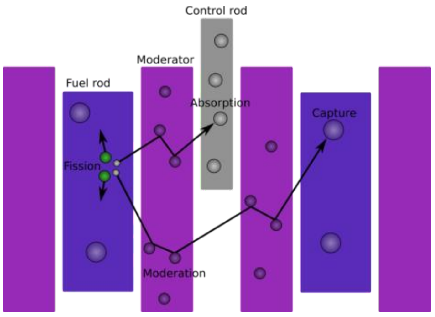
พลังงานต่อปฏิกิริยา : ฟิวชัน > ฟิสชัน

การควบคุมปฏิกิริยา : ฟิวชัน ยากกว่า ฟิสชัน

❹ **เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์** สำหรับควบคุมฟิสชัน



- **แท่งเชื้อเพลิง (Fuel Rod)** เป็นแท่งที่มี ยูเรเนียมหรือพลูโตเนียมเสียบอยู่
- **ตัวกลาง (Moderator)** เป็นตัวส่งผ่านนิวตรอนไปยังแท่งเชื้อเพลิงอีกแท่ง อาจจะเป็นน้ำ หรือน้ำมวลหนัก (ดิวทีเรียม) หรืออื่นๆ
- **แท่งควบคุม (Comtrol Rod)** ทำจากสาร **ซับนิวตรอน** ก่อนจะทะลุไปยังแท่งเชื้อเพลิงอีกแท่ง ใช้ควบคุมระดับพลังงานของเตา และหากปิดลงจนสุดก็จะหยุดการทำงานของเตา



14. ประโยชน์ของธาตุกัมมันตรังสี

ธาตุ/ไอโซโทป	ครึ่งชีวิต	แบบการสลายตัว	ประโยชน์
Tc -99	6 ชั่วโมง		
C-14	5,760 ปี	บีตา	หาอายุวัตถุโบราณ
Co-60	5.26 ปี	แกมมา	รักษามะเร็ง
Au-198	2.7 วัน	บีตา แกมมา	วินิจฉัยตับ
I-125	60 วัน	แกมมา	หาปริมาณเลือด
I-131	8.07 วัน	บีตา แกมมา	วินิจฉัยอวัยวะ
P-32	14.3 วัน	บีตา	รักษามะเร็ง
Pu-239	24,000 ปี	แอลฟา แกมมา	พลังงาน
K-40	1x109 ปี	บีตา	หาอายุหิน
U-238	4.5x109 ปี	แอลฟา แกมมา	วัตถุเริ่มต้นให้ Pu-239
U-235	7.1x109 ปี	แอลฟา แกมมา	รักษามะเร็ง
Cl-36	4x105 ปี		
Po-216	0.16 วินาที		
Ra-226	1,600 ปี	แอลฟา แกมมา	รักษามะเร็ง