เตรียมสอบ
เด็กสายวิทย์

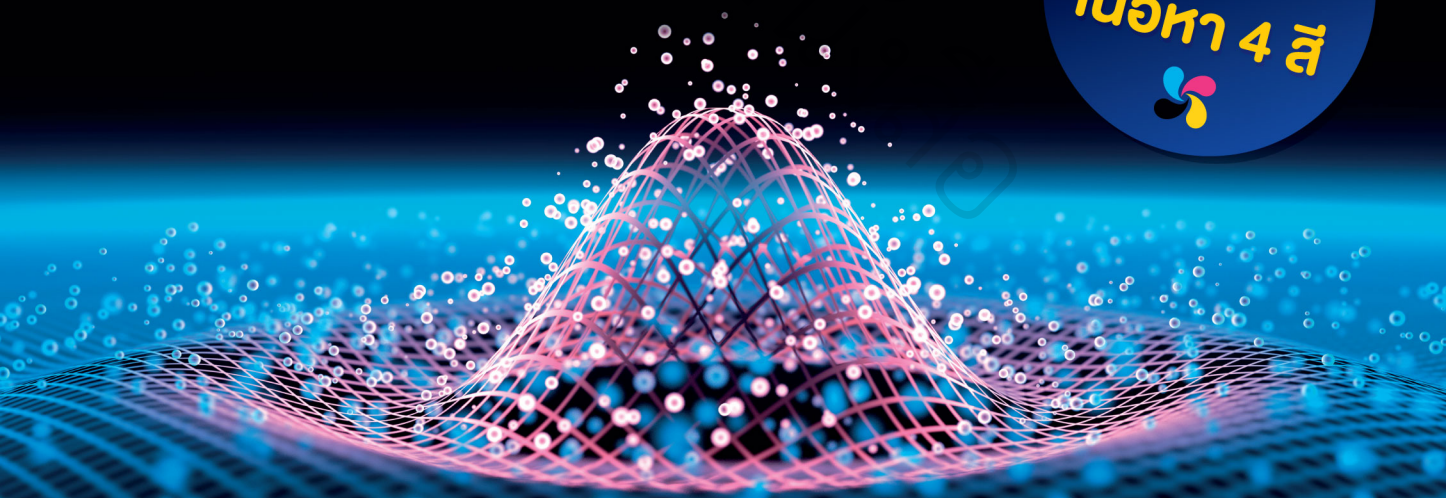
Think Beyond

COMPLETE

PHYSICS มัธยมปลาย

สรุปเข้ม เน้นข้อสอบ

ครอบคลุมทุกสนามสอบ
เนื้อหา 4 สี



สรุปเนื้อหาแบบเข้มข้น ครอบคลุมใช้สอบเข้ามหาวิทยาลัย

ตะลุยโจทย์ พร้อมเฉลยละเอียด อ่านเข้าใจง่าย

พร้อมทุกสนามสอบ O-NET • 9 วิชาสามัญ
• สอบตรง • โควตา • TCAS • A-Level

วันทนา จอมเพชร

จัดจำหน่ายโดย IDC PREMIER

สารบัญ

บทที่ 1 ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์ 6
ตะลุยโจทย์ บทที่ 1 ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์ 12

บทที่ 2 การเคลื่อนที่แนวตรง 16
ตะลุยโจทย์ บทที่ 2 การเคลื่อนที่แนวตรง 21

บทที่ 3 แรงและกฎการเคลื่อนที่ 30
ตะลุยโจทย์ บทที่ 3 แรงและกฎการเคลื่อนที่ 43

บทที่ 4 สมดุลกลของวัตถุ 50
ตะลุยโจทย์ บทที่ 4 สมดุลกลของวัตถุ 56

บทที่ 5 งานและกฎการอนุรักษ์พลังงานกล 62
ตะลุยโจทย์ บทที่ 5 งานและกฎการอนุรักษ์พลังงานกล 70

บทที่ 6 โมเมนตัมและการชน 76
ตะลุยโจทย์ บทที่ 6 โมเมนตัมและการชน 84

บทที่ 7 การเคลื่อนที่แนวโค้ง 90
ตะลุยโจทย์ บทที่ 7 การเคลื่อนที่แนวโค้ง 97

บทที่ 8 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย 102
ตะลุยโจทย์ บทที่ 8 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย 108

บทที่ 9 คลื่น 114
ตะลุยโจทย์ บทที่ 9 คลื่น 125

บทที่ 10 แสงเชิงคลื่น 130
ตะลุยโจทย์ บทที่ 10 แสงเชิงคลื่น 138

ตัวอย่างหนังสือ

บทที่ 11 แสงเชิงรังสี 144
ตะลุยโจทย์ บทที่ 11 แสงเชิงรังสี 164

บทที่ 12 เสียง 170
ตะลุยโจทย์ บทที่ 12 เสียง 184

บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต 188
ตะลุยโจทย์ บทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต 202

บทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส 206
ตะลุยโจทย์ บทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส 221

บทที่ 15 แม่เหล็กและไฟฟ้า 226
ตะลุยโจทย์ บทที่ 15 แม่เหล็กและไฟฟ้า 245

บทที่ 16 ความร้อนและแก๊ส 252
ตะลุยโจทย์ บทที่ 16 ความร้อนและแก๊ส 264

บทที่ 17 ของแข็งและของไหล 270
ตะลุยโจทย์ บทที่ 17 ของแข็งและของไหล 285

บทที่ 18 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 290
ตะลุยโจทย์ บทที่ 18 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 297

บทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม 302
ตะลุยโจทย์ บทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม 316

บทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค 320
ตะลุยโจทย์ บทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค 337

เฉลยแนวข้อสอบ 345

ตัวอย่างหนังสือ

สรุปบทที่ 1 ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์

ฟิสิกส์ คือ วิชาที่ศึกษาปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติ

หน่วย คือ สิ่งที่บ่งบอกถึงวิธีการวัดหรือการคำนวณของปริมาณทางฟิสิกส์

ระบบหน่วยระหว่างชาติ (SI Units)

หน่วยฐาน (Base units) คือ หน่วยที่ระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศกำหนดไว้เป็นพื้นฐาน

ประเภทหน่วยฐาน	มีหน่วยเป็น
ความยาว	เมตร (m)
มวล	กิโลกรัม (kg)
เวลา	วินาที (s)
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (A)

ประเภทหน่วยฐาน	มีหน่วยเป็น
อุณหภูมิ	เคลวิน (K)
ปริมาณของสาร	โมล (mol)
ความเข้มการส่องสว่าง	แคนเดลลา (cd)

หน่วยอนุพันธ์ (Derived units) คือ หน่วยที่เกิดจากการประกอบกันของหน่วยฐาน

ตัวอย่างหน่วยอนุพันธ์	มีหน่วยเป็น
แรง	นิวตัน (N) หรือ $kg \cdot m/s^2$
พลังงาน	จูล (J) หรือ $kg \cdot m^2/s^2$ หรือ $N \cdot m$
อัตราเร็ว	เมตรต่อวินาที (m/s)
ประจุไฟฟ้า	คูลอมบ์ (C) หรือ $A \cdot s$

หน่วยเสริม คือ ปริมาณที่ถือว่าเป็นหน่วยในฟิสิกส์ จะมีลักษณะเป็นค่าคงที่ เช่น

- มุมปกติ (2 มิติ) หน่วยเรเดียน (rad) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2
- มุมตัน (3 มิติ) หน่วยสเตอเรเดียน (sr) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 4

สัญกรณ์แบบวิทยาศาสตร์ คือ รูปแบบข้อตกลงการเขียนตัวเลขเพื่อใช้ในงานวิทยาศาสตร์

จำนวนในรูป $A \times 10^n$ เมื่อ A มากกว่าหรือเท่ากับ 1 แต่น้อยกว่า 10 $(1 \leq A < 10)$

เช่น $25{,}000 = 2.5 \times 10^4$ ฯลฯ

คำอุปสรรค

คำอุปสรรค คือ ปริมาณที่ถูกแทนด้วยสัญลักษณ์เพื่อความสะดวกในการอ่าน เพื่อความง่ายจึงมีการกำหนดค่า 10^n บางค่าไว้ ดังนี้

เลขยกกำลัง	ชื่อเรียก	ตัวย่อ
10^1	deca (เดคา)	da
10^2	hector (เฮกโต)	h
10^3	kilo (กิโล)	k
10^6	mega (เมกะ)	M
10^9	giga (กิกะ)	G
10^{12}	tera (เทระ)	T
10^{15}	peta (เพตะ)	P
10^{18}	exa (เอกซะ)	E

เลขยกกำลัง	ชื่อเรียก	ตัวย่อ
10^{-1}	deci (เดซิ)	d
10^{-2}	centi (เซนติ)	c
10^{-3}	milli (มิลลิ)	m
10^{-6}	micro (ไมโคร)	μ
10^{-9}	nano (นาโน)	n
10^{-12}	pico (พิโค)	p
10^{-15}	femto (เฟมโต)	f
10^{-18}	atto (อัตโต)	a

ควรรู้

อังสตรอม (Å) เป็นปริมาณหน่วยความยาวที่มีค่าเท่ากับ 10^{-10} m (มักใช้ในระดับอะตอม)

หลักการคำนวณคำอุปสรรค

- ถ้าเปลี่ยนจากหน่วยเล็ก ⟶ หน่วยใหญ่ ให้คูณเลขสิบยกกำลังที่เป็น –
- ถ้าเปลี่ยนจากหน่วยใหญ่ ⟶ หน่วยเล็ก ให้คูณเลขสิบยกกำลังที่เป็น +

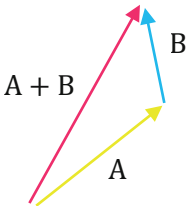
เช่น 1 พิโคเมตร เท่ากับกี่กิโลเมตร

แปลงหน่วยเล็ก 1 pm ให้อยู่ในหน่วยฐานธรรมดา จะได้ 1×10^{-12} m

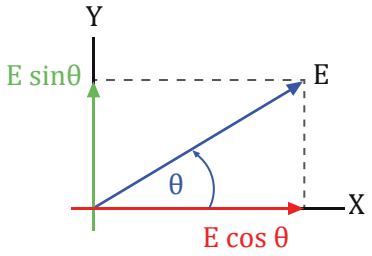
แปลงหน่วยฐานธรรมดา ให้เป็นหน่วยใหญ่ km จะได้ $1 \times 10^{-12} \times 10^3 = 1 \times 10^{-9}$ km

การบวกและลบเวกเตอร์

การบวกเวกเตอร์ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ



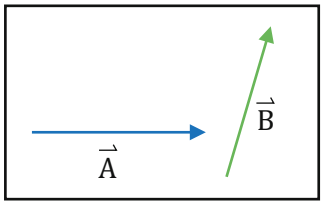
วิธีหางต่อหัว

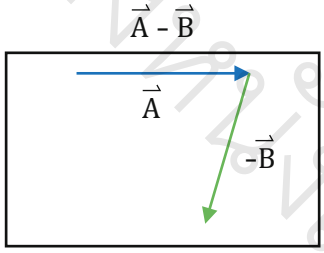


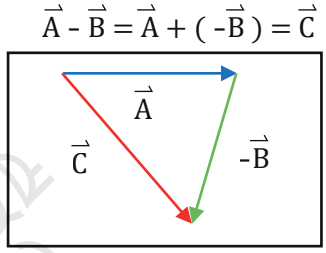
วิธีแตกแกน

- **วิธีหางต่อหัว** คือ การเอาเวกเตอร์มาต่อกันโดยให้หัวลูกศรตัวหนึ่งต่อกับหางของเวกเตอร์อีกตัวหนึ่ง เวกเตอร์ลัพธ์จะได้จากการลากเส้นตรงจากหางของเวกเตอร์แรกไปสิ้นสุดที่หัวของเวกเตอร์สุดท้าย
- **วิธีแตกแกน** คือ เอาเวกเตอร์ทุกตัวมาเขียนใส่แกน x–y แล้วแตกเวกเตอร์ แยกรวมกันในแต่ละแกน แล้วจึงเอาเวกเตอร์ แต่ละแกนมาหาเวกเตอร์ลัพธ์ (ใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส) เมื่อแตกเวกเตอร์แล้ว เวกเตอร์เดิมจะหายไปเสมอ

การลบเวกเตอร์ โดยวิธีหางต่อหัว โดยนำเวกเตอร์ตัวลบมากลับทิศหัวลูกศรแล้วค่อยมาบวกกันด้วยวิธีเดิม



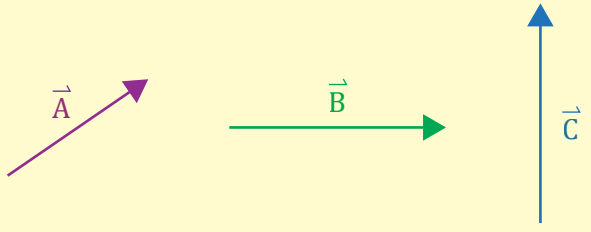




ตัวอย่าง

จงเขียนภาพแสดงเวกเตอร์ลัพธ์ต่อไปนี้ เมื่อกำหนดเวกเตอร์ ดังนี้

1. $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$
2. $\vec{A} + \vec{B} - \vec{C}$
3. $\vec{A} - \vec{B} + \vec{C}$



ตะลุยโจทย์ บทที่ 1

ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์

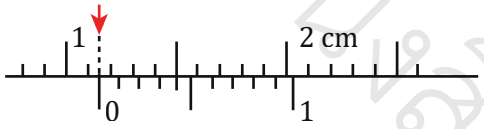
1. ข้อใดนับเป็นปริมาณหน่วยฐาน (Base units) ทั้งหมด

1) มวล ความยาว และแรง
2) ระยะทาง พื้นที่ และปริมาตร
3) อุณหภูมิ มุม และพลังงาน
4) มวล กระแสไฟฟ้า และปริมาณของสาร

2. หากช่างต้องการจะวัดความต่างศักย์ของถ่านไฟฉายด้วยโวลต์มิเตอร์แบบเข็ม ซึ่งอ่านค่าเต็มสเกลได้เท่ากับ 5 โวลต์ และมีสเกลละเอียดที่สุดเท่ากับ 0.1 โวลต์
ข้อใดถือว่าอ่านค่าความต่างศักย์ได้เหมาะสมที่สุด

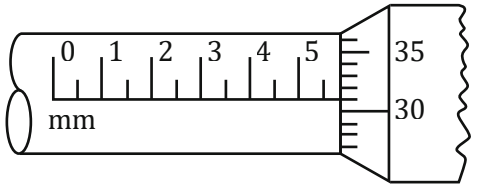
1) 1.5 โวลต์
2) 1.55 โวลต์
3) 1.552 โวลต์
4) 1.5520 โวลต์

3. นักเรียนกำลังทดลองวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดทดลอง โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ได้ผลการวัดดังรูป นักเรียนควรอ่านค่าได้กี่เซนติเมตร



1) 1.14 เซนติเมตร
2) 1.15 เซนติเมตร
3) 1.45 เซนติเมตร
4) 1.50 เซนติเมตร

4. นักเรียนฝึกอ่านการวัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์ ได้ผลการวัดดังรูป นักเรียนควรอ่านค่าได้กี่มิลลิเมตร



1) 5.31 มิลลิเมตร
2) 5.79 มิลลิเมตร
3) 5.81 มิลลิเมตร
4) 5.93 มิลลิเมตร

5. หากจะเปลี่ยน 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ให้อยู่ในรูปเมตรต่อวินาที จะมีค่าเท่ากับข้อใด

1) 10 เมตร/วินาที
2) 20 เมตร/วินาที
3) 30 เมตร/วินาที
4) 40 เมตร/วินาที

6. ข้อใดเปลี่ยนหน่วยมวลของโปรตอน 1.6×10^{-27} กิโลกรัม เป็นหน่วยพิโคกรัมได้ถูกต้อง

1) 1.6×10^{-39} พิโคกรัม
2) 1.6×10^{-36} พิโคกรัม
3) 1.6×10^{-15} พิโคกรัม
4) 1.6×10^{-12} พิโคกรัม

7. จงพิจารณาโจทย์ต่อไปนี้ ว่ามีข้อใดบ้างที่ถูกต้อง

ก. $2.12 + 3.895 + 5.4236 = ?$

ข. $15.7962 + 6.31 - 16.8 = ?$

1) ผลลัพธ์ ก. มีตำแหน่งทศนิยมละเอียด 2 ตำแหน่ง ผลลัพธ์ ข. มีตำแหน่งทศนิยมละเอียด 1 ตำแหน่ง
2) ผลลัพธ์ ก. มีตำแหน่งทศนิยมละเอียด 2 ตำแหน่ง ผลลัพธ์ ข. มีตำแหน่งทศนิยมละเอียด 2 ตำแหน่ง
3) ผลลัพธ์ ก. มีตำแหน่งทศนิยมละเอียด 1 ตำแหน่ง ผลลัพธ์ ข. มีตำแหน่งทศนิยมละเอียด 2 ตำแหน่ง
4) ไม่มีข้อถูก

8. เหล็กแท่งหนึ่งมีมวล 47.0 กรัม มีปริมาตร 9.0 ลบ.ซม. นำไปคำนวณค่าความหนาแน่นที่เหมาะสม จะต้องเป็นกี่กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1) 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2) 5.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3) 5.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
4) 5.222 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

9. ในอากาศมีความหนาแน่น 1.2×10^{-3} g/cm^3 ความหนาแน่นของอากาศในหน่วย kg/m^3 มีค่าตรงกับข้อใด

1) 12 kg/m^3
2) 1.2×10^{2} kg/m^3
3) 1.2×10^{3} kg/m^3
4) 1.2 kg/m^3

10. นักเรียนวิชาฟิสิกส์ทำการบันทึกตัวเลขจากการทดลองได้เป็น 0.0854 กิโลกรัม, 4.65×10^{-2} เมตร, 30.5 เซนติเมตร และ 9.00 วินาที จำนวนเหล่านี้มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว

1) 1 ตัว
2) 2 ตัว
3) 3 ตัว
4) 4 ตัว

ตัวอย่างหนังสือ

สรุปบทที่ 5 งานและกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

งาน (Work) คือ ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางหนึ่ง งานเป็นปริมาณสเกลาร์ จึงไม่มีทิศทาง

งานเนื่องจากแรงคงตัว

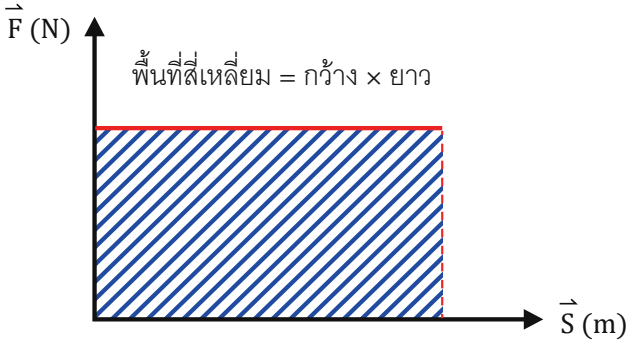
$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$

เมื่อ W คือ งาน (J) หรือนิวตันเมตร (N·m)
$\vec{F}$ คือ แรงที่กระทำ (N)
$\vec{s}$ คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปตามแนวแรง (m)

งานเป็นปริมาณสเกลาร์ มีค่าเป็นบวก ลบ หรือศูนย์ก็ได้

- **งานเป็นบวก** เมื่อแรงมีทิศไปทางเดียวกับระยะทาง
- **งานเป็นลบ** เมื่อแรงมีทิศตรงข้ามกับระยะทาง
- **งานเป็นศูนย์** เมื่อแรงมีทิศตั้งฉากกับระยะทาง

การหางานจากพื้นที่ใต้กราฟ

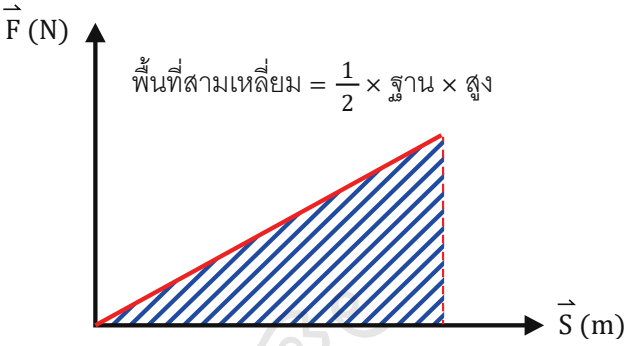


$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$

W = พื้นที่ใต้กราฟ

งานเนื่องจากแรงไม่คงตัว

การหางานของแรงไม่คงตัวที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ โดยพิจารณาให้ขนาดของแรงเป็นขนาดของแรงเฉลี่ย

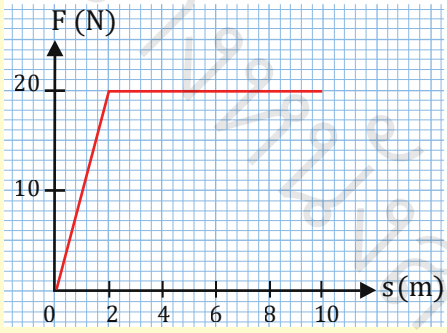


$$W = \frac{1}{2}\vec{F}\cdot\vec{s}$$

$$W = \text{พื้นที่ใต้กราฟ}$$

ตัวอย่าง

นายมานะออกแรงดันวัตถุให้เคลื่อนที่บนพื้นราบได้กราฟระหว่างแรงกับระยะทาง ดังรูป จงหางานที่นายมานะทำได้ทั้งหมด



หางาน (W) ทั้งหมดที่นายมานะทำจากการหาพื้นที่ใต้กราฟ

พิจารณากราฟพบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

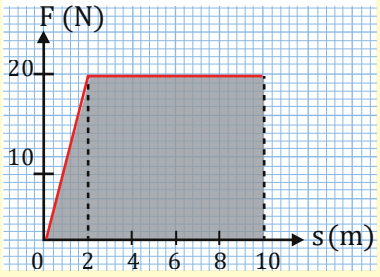
หาพื้นที่ใต้กราฟได้จาก = พื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู

$$\text{พื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู} = \frac{1}{2} \times \text{ผลบวกของด้านคู่ขนาน} \times \text{สูง}$$

$$= \frac{1}{2} \times (10 + 8) \times (20)$$

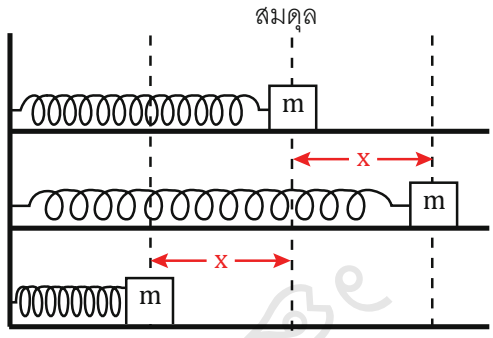
$$= 180 \text{ จูล}$$

ดังนั้น งานที่นายมานะทำได้ทั้งหมด มีค่า 180 จูล



งานของแรงยืดหยุ่น (งานของสปริง)

งานของแรงยืดหยุ่น (งานของสปริง) คือ งานของแรงที่มีค่าไม่คงตัว เช่น การออกแรงดึงปลายสปริงให้ยืดตัวหรือหดตัว



$$W = \frac{1}{2}ks^2$$

$$F = ks$$

เมื่อ F คือ แรงดึงปลายสปริง (N)

s คือ ระยะทางที่สปริงยืดหรือหดตัวจากสมดุล (m)

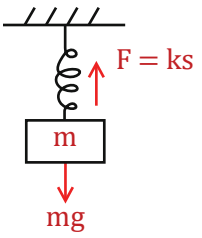
k คือ ค่านิจสปริง (N/m)

W คือ งานของสปริงเมื่อยืดหรือหดตัว (J)

กรณีผูกวัตถุมวล m กับปลายสปริงแล้วแขวนแนวดิ่ง

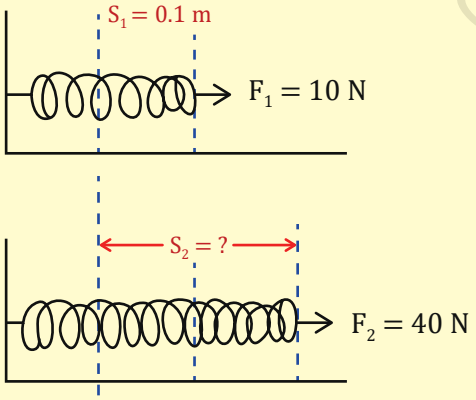
แรงดึงกลับของสปริง = น้ำหนักวัตถุ

$ks = mg$



ตัวอย่าง

ออกแรงดึงขนาด 10 นิวตันต่อสปริงเส้นหนึ่ง ทำให้สปริงยืดตัวออกจากเดิม 0.1 เมตร หากออกแรงดึงเป็น 40 นิวตัน กับสปริงเดิม อยากทราบว่าสปริงจะยืดตัวจากเดิมกี่เมตร



แรงดึงสปริงทั้ง 2 ครั้ง กระทำกับสปริงเส้นเดิม ดังนั้นค่านิจสปริง (k) คงที่

ตัวอย่างหนังสือ

พลังงานกล

พลังงาน เป็นความสามารถในการทำงาน ในด้านกลศาสตร์ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ เรียกว่า **พลังงานกล** (Mechanical Energy) เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นจูล (J)

พลังงานจลน์ (E_k) คือ พลังงานที่สะสมในวัตถุเมื่อมีอัตราเร็ว

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ เมื่อ E_k คือ พลังงานจลน์ (J)
v คือ อัตราเร็ว (m/s)
m คือ มวลของวัตถุ

พลังงานศักย์โน้มถ่วง (E_p) คือ พลังงานที่สะสมในตัววัตถุเมื่อมีระดับความสูงเทียบกับระดับอ้างอิง

$E_p = mgh$ เมื่อ E_p คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วง
h คือ ความสูงแนวดิ่ง
mg คือ น้ำหนักของวัตถุ

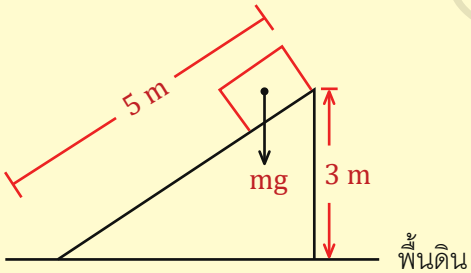
พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (E_{ps}) คือ พลังงานที่สะสมในตัววัตถุ เมื่อมีการยืดหรือหดตัวจากตำแหน่งสมดุล

$E_{ps} = \frac{1}{2}ks^2$ เมื่อ E_{ps} คือ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น
k คือ ค่านิจสปริง (N/m)
S คือ ระยะทางที่สปริงยืดหรือหดตัวจากสมดุล (m)

ตัวอย่าง

วางกล่องมวล 2 กิโลกรัม ไว้ที่ปลายบนของพื้นเอียงซึ่งอยู่สูงจากพื้น 3 เมตร และหากพื้นเอียงยาว 5 เมตร และสูง 3 เมตร จงหาพลังงานศักย์โน้มถ่วงของกล่องเทียบกับพื้นดิน กำหนดให้ $g = 10\ m/s^2$

จากโจทย์สามารถวาดรูปได้ ดังนี้



หาพลังงานศักย์โน้มถ่วง

จาก $E_p = mgh$

$E_p = 2 \times 10 \times 3$

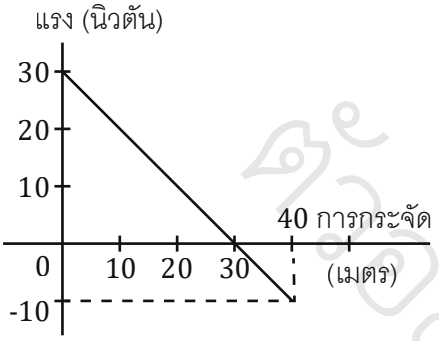
$E_p = 60$ จูล

ดังนั้น พลังงานศักย์โน้มถ่วงของกล่องเทียบกับพื้นดินมีค่า 60 จูล

ตะลุยโจทย์ บทที่ 5

งานและกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

1. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการกระจัด ดังรูป จงหางานที่เกิดขึ้น เมื่อการกระจัดเป็น 40 เมตร



1) 300 จูล
2) 400 จูล
3) 500 จูล
4) 600 จูล

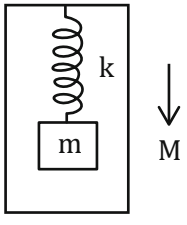
2. เด็กชายคนหนึ่งออกแรงยกกล่องมวล 10 กิโลกรัม แล้วเดินขึ้นบันได 5 ขั้น แต่ละขั้นสูง 20 เซนติเมตร งานที่เด็กชายคนนี้ทำจากการยกกล่องขึ้นบันไดมีค่าเท่าใด ($g = 9.8\ m/s^2$)

1) 97 จูล
2) 98 จูล
3) 99 จูล
4) 100 จูล

3. ก้อนหินกำลังเคลื่อนที่โดยมีแรงคงที่กระทำอยู่ ถ้าขนาดของแรงดังกล่าวลดลงอย่างสม่ำเสมอ โดยไม่เปลี่ยนทิศทางของแรง พลังงานจลน์ของก้อนหินจะเป็นอย่างไร

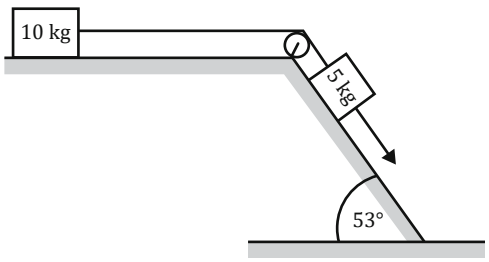
1) เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ
2) เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ไม่สม่ำเสมอ
3) ลดลงด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ
4) ลดลงด้วยอัตราที่ไม่สม่ำเสมอ

4. เครื่องมืออันหนึ่งถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้วัดความเร่งได้ มันประกอบด้วยกล่อง มวล M โดยภายในกล่องติดตั้งสปริง ซึ่งมีค่านิจ k และปลายของสปริงแขวนมวล m ดังรูป จงหาระยะยืดหรือหดของสปริง ในขณะที่เครื่องมือวัดตกอย่างอิสระในทิศทาง ดังแสดงด้วยลูกศร



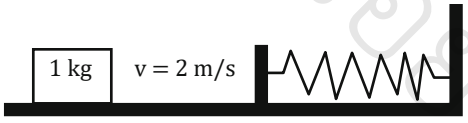
1) ยืด $\frac{m}{g}$
2) ไม่ยืดไม่หด
3) หด $\frac{mg}{k}$
4) ยืด $\frac{(M+m)g}{k}$

9. จากรูประบบประกอบด้วยมวลวัตถุ 2 ก้อน มีมวล 5 กิโลกรัม และมวล 10 กิโลกรัม ถ้าวัตถุในระบบเคลื่อนที่ได้ 5 เมตร จงหางานที่เกิดขึ้นตรงกับข้อใด



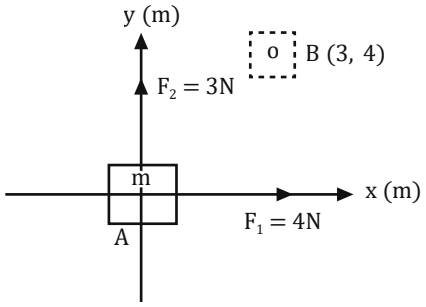
1) 200 จูล
2) 300 จูล
3) 400 จูล
4) 500 จูล

10. กล่องมวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที บนผิวราบที่ปราศจากความฝืด ไปชนกับปลายของสปริงที่เคลื่อนไปมาอย่างอิสระ ถ้าค่านิจของสปริงดังกล่าวเท่ากับ 400 นิวตัน/เมตร อยากทราบว่าสปริงจะถูกอัดตัวเป็นระยะทางกี่เมตร



1) $\frac{1}{10\sqrt{2}}$ เมตร
2) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ เมตร
3) 0.05 เมตร
4) 0.1 เมตร

11. จากรูปงานที่เกิดจากแรง F_1 และ F_2 กระทำต่อวัตถุข้อใดถูกต้อง โดยเดิมมวล m อยู่ที่ตำแหน่ง A ซึ่งมีพิกัดเป็น (0, 0) ถูกกระทำด้วยแรง F_1 และ F_2 ทำให้มาอยู่ที่ตำแหน่ง B ซึ่งมีพิกัดเป็น (3, 4)



1) 12 จูล
2) 24 จูล
3) 36 จูล
4) 48 จูล

12. ลิฟต์ตัวหนึ่งมีมวล 750 กิโลกรัม สามารถยกของ 850 กิโลกรัม ขึ้นไปสูง 20 เมตร ในเวลา 8 วินาที โดยใช้กำลัง 50 กิโลวัตต์ จะมีงานสูญเสียไปเท่าใด (กำหนดให้ $g = 10\ m/s^2$)

1) 40 kJ
2) 80 kJ
3) 120 kJ
4) 160 kJ

สรุปบทที่ 9
คลื่น

ธรรมชาติของคลื่น

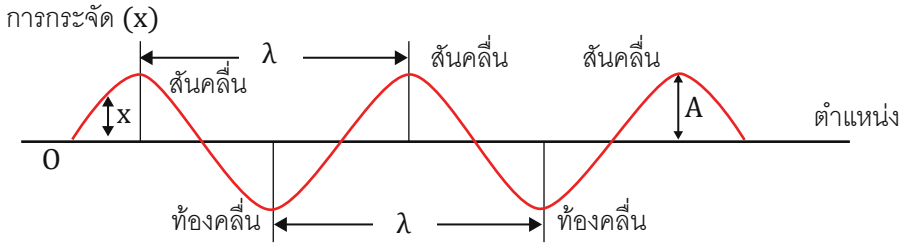
คลื่น เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรบกวนต่อตัวกลาง แล้วพลังงานจากการรบกวนจะถูกถ่ายโอนผ่านอนุภาคของตัวกลาง ทำให้เรามองเห็นเป็นคลื่นเคลื่อนที่ออกไป โดยอนุภาคของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย เช่น โยนก้อนหินลงในน้ำ การสะบัดเชือก การอัดสปริง ฯลฯ

ชนิดของคลื่น

เมื่ออนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น และอนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ในแนวขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เรียกว่า คลื่นตามขวางและคลื่นตามยาว ตามลำดับ

ประเภทของคลื่น		
ตามลักษณะตัวกลาง	**ตามการกำเนิดคลื่น**	**ตามการเคลื่อนที่**
คลื่นกล ใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ คลื่นเสียง	**คลื่นดล** คลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดครั้งเดียว	**คลื่นตามขวาง** คลื่นที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น แสง	**คลื่นต่อเนื่อง** คลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายครั้ง	**คลื่นตามยาว** คลื่นที่ขนานกับการเคลื่อนที่

ส่วนประกอบของคลื่น



การกระจัด (x) เป็นระยะตั้งฉากจากแนวสมดุลไปยังตำแหน่งต่างๆ บนคลื่น

แอมพลิจูด (A) คือ ขนาดของการกระจัดที่มีค่ามากที่สุด

$$A = \frac{\text{ระยะสูงสุด} - \text{ต่ำสุดของคลื่น}}{2}$$

สันคลื่น คือ ตำแหน่งสูงสุดของคลื่น

ท้องคลื่น คือ ตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น

ความยาวคลื่น (λ) คือ ระยะทางที่วัดเป็นเส้นตรงจากจุดตั้งต้นไปจนถึงจุดสุดท้ายของหนึ่งลูกคลื่น หรือระยะระหว่างสันคลื่นที่อยู่ถัดกัน หรือระยะระหว่างท้องคลื่นที่อยู่ถัดกัน

$$\lambda = vT$$

ความถี่ (f) คือ จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นรอบ/วินาที

คาบ (T) คือ เวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 ลูกคลื่น มีหน่วยเป็นวินาที

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

อัตราเร็วของคลื่น

อัตราเร็วของคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยมีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น ซึ่งหาได้จาก

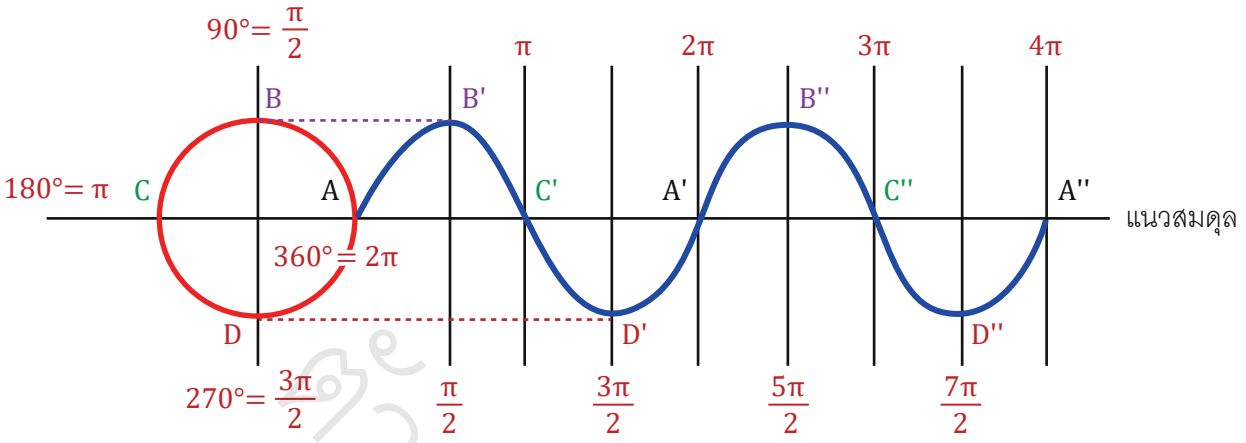
$$v = f\lambda$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่น (m)
v คือ อัตราเร็วคลื่น (m/s)
T คือ คาบ (เวลาเคลื่อนที่ของคลื่น 1 ลูก) (s)
f คือ ความถี่คลื่น (Hz)

ตัวอย่างหนังสือ

เฟสของคลื่น

เฟสของคลื่น (Phase) คือ ค่ามุมเป็นองศา หรือเรเดียนบนแนวสมดุล ใช้บอกตำแหน่งของจุดต่างๆ บนคลื่น



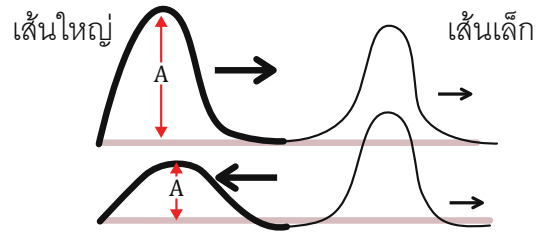
จุด A	เป็นจุดเริ่มต้นบนวงกลมและบนคลื่น	มีเฟส 0° หรือ 0 rad
จุด B'	บนคลื่น ตรงกับจุด B บนวงกลม	มีเฟส 90° หรือ $\frac{\pi}{2}$ rad
จุด C'	บนคลื่น ตรงกับจุด C บนวงกลม	มีเฟส 180° หรือ π rad
จุด D'	บนคลื่น ตรงกับจุด D บนวงกลม	มีเฟส 270° หรือ $\frac{3\pi}{2}$ rad
จุด A'	บนคลื่น ตรงกับจุด A บนวงกลม	มีเฟส 360° หรือ 2π rad
จุด B''	บนคลื่น ตรงกับจุด B บนวงกลม	มีเฟส 450° หรือ $\frac{5\pi}{2}$ rad
จุด C''	บนคลื่น ตรงกับจุด C บนวงกลม	มีเฟส 540° หรือ 3π rad
จุด D''	บนคลื่น ตรงกับจุด D บนวงกลม	มีเฟส 630° หรือ $\frac{7\pi}{2}$ rad
จุด A''	บนคลื่น ตรงกับจุด A บนวงกลม	มีเฟส 720° หรือ 4π rad

เฟสตรงกัน คือ จุดบนคลื่นที่มีการกระจัดไปในทิศเดียวกันและเคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน จุดใดๆ บนคลื่นจะมีเฟสตรงกันก็ต่อเมื่อจุดเหล่านั้นมีเฟสต่างกัน 2π, 4π, 6π, ... เรเดียน หรือจุดเหล่านั้นอยู่ห่างกัน λ, 2λ, 3λ,... เช่น A, A' และ A''

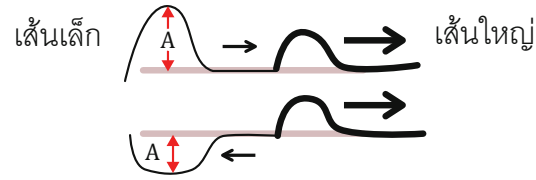
เฟสตรงข้ามกัน คือ จุดบนคลื่นที่มีการกระจัดไปในทิศตรงข้ามกันและเคลื่อนที่ไปทางตรงข้ามกัน จุดใดๆ บนคลื่นจะมีเฟสตรงข้ามกันก็ต่อเมื่อจุดเหล่านั้นมีเฟสต่างกัน π, 3π, 5π...เรเดียน หรือจุดเหล่านั้นอยู่ห่างกัน $\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots$ เช่น จุด A และ C'

การส่งผ่านของคลื่นในเส้นเชือก 2 เส้นต่อกัน

- ถ้าส่งพลังงานจากเชือกใหญ่ ⟶ เชือกเล็ก
  เชือกเล็ก : ถ่ายทอดพลังงานตามมุมเฟสของเชือกใหญ่
  เชือกใหญ่ : สะท้อนด้วยมุมเฟสเดิม

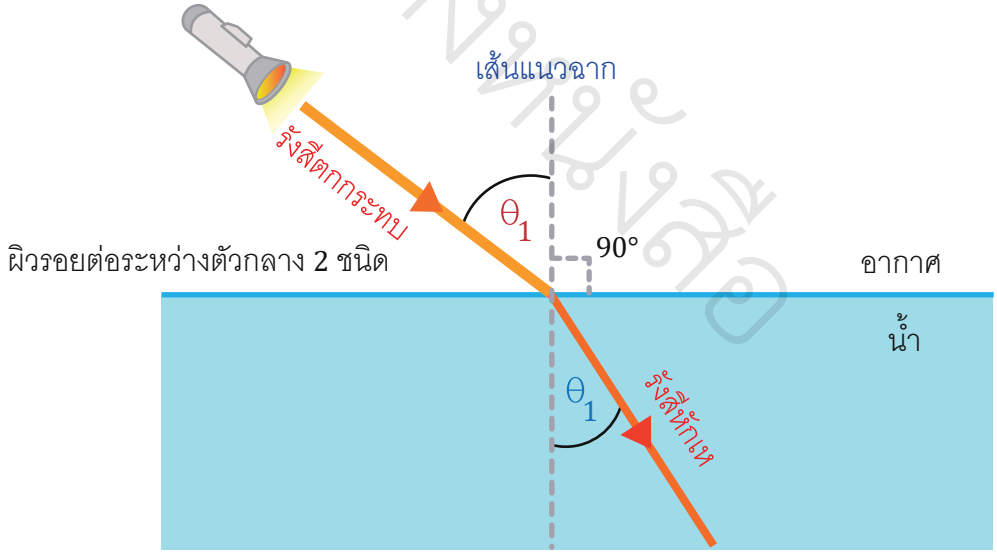


- ถ้าส่งพลังงานจากเชือกเล็ก ⟶ เชือกใหญ่
  เชือกใหญ่ : สะท้อนด้วยมุมเฟสตรงข้าม
  เชือกเล็ก : ถ่ายทอดพลังงานตามมุมเฟสของเชือกเล็ก



การหักเห

การหักเห คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีสมบัติต่างกัน ส่งผลให้คลื่นมีอัตราเร็วที่เปลี่ยนไป แต่มีความถี่คงเดิม



เมื่อคลื่นกระทบรอยต่อของตัวกลางคลื่นส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อนและอีกส่วนหนึ่งเกิดการหักเห

- การหักเหของคลื่นเป็นการเปลี่ยนอัตราเร็วของคลื่นเมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลางอีกตัวกลางหนึ่ง อาจไม่เปลี่ยนทิศทางก็ได้
- เมื่อคลื่นกระทบรอยต่อของตัวกลาง คลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับสู่ตัวกลางเดิม อีกส่วนหนึ่งผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง เรียกว่า คลื่นหักเห

ตัวอย่างหนังสือ

ตะลุยโจทย์ บทที่ 9

คลื่น

1. ในการเคลื่อนที่แบบคลื่นนั้นพลังงานจากการสะบัดปลายเส้นเชือกด้านหนึ่งจะถ่ายทอดไปยังปลายเชือกอีกด้านหนึ่งได้ ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง

1) พลังงานถ่ายทอดไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของคลื่น
2) พลังงานถ่ายทอดหลังจากการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านไปแล้ว
3) พลังงานจะถ่ายทอดไปก่อนที่คลื่นจะเคลื่อนที่มาถึง
4) พลังงานจากคลื่นจะถ่ายเทให้อนุภาคและอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปยังปลายเชือก

2. ข้อใดบ้างต่อไปนี้ที่หมายถึงความเร็วคลื่น

ก อัตราการส่งพลังงานคลื่นในตัวกลาง
ข อัตราการกระจัดของเฟสคงที่ของคลื่นในตัวกลาง
ค ผลคูณของความถี่และความยาวคลื่น

คำตอบที่ถูกต้องคือข้อใด

1) ข้อ ก และ ข
2) ข้อ ก และ ค
3) ข้อ ข และ ค
4) ข้อ ก, ข และ ค

3. ผู้ทดลองคนหนึ่งสังเกตเห็นว่า คลื่นหน้าตรงในถาดคลื่นซึ่งเคลื่อนที่เข้าใกล้ขอบถาด คลื่นด้านหน้าจะมีระยะห่างระหว่างหน้าคลื่นลดลงเขาสรุปว่าอาจเนื่องจากสาเหตุ 3 ประการ คือ

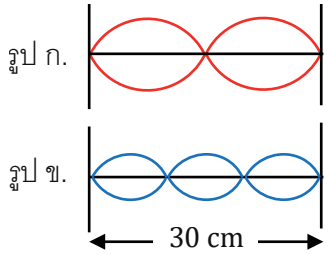
ก มีการสูญเสียพลังงานคลื่นตามระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่
ข ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้ขอบถาดด้านหน้าแหล่งกำเนิดคลื่นสั่นขึ้น
ค ถาดคลื่นไม่อยู่ในแนวระดับคือเอียงไปทางขอบถาดด้านหลัง

ข้อสรุปใดบ้างที่น่าจะเป็นไปได้

1) ข้อ ก และ ข
2) ข้อ ก และ ค
3) ข้อ ข และ ค
4) เฉพาะข้อ ค

ตัวอย่างหนังสือ

12. แหล่งกำเนิดคลื่นทำให้เกิดคลื่นในเส้นเชือกที่ตรึงปลายข้างหนึ่งไว้ เมื่อใช้ความถี่ 40 เฮิรตซ์ จะเกิดคลื่นนิ่งในรูป ก ถ้าต้องการทำให้เกิดคลื่นนิ่งในรูป ข โดยอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกคงเดิม ต้องใช้ความถี่ของแหล่งกำเนิดเป็นกี่เฮิรตซ์

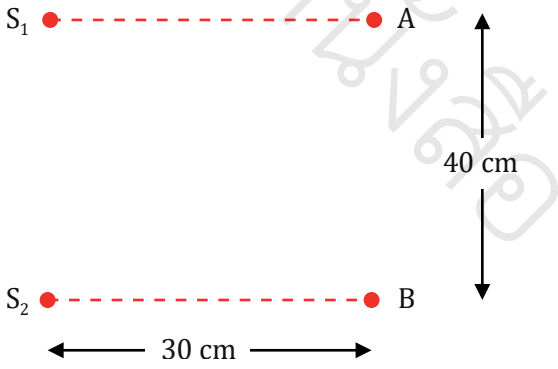


1) 60 เฮิรตซ์
2) 120 เฮิรตซ์
3) 160 เฮิรตซ์
4) 200 เฮิรตซ์

13. คลื่นน้ำหน้าตรงเคลื่อนที่จากบริเวณ A เข้าสู่บริเวณ B ทำมุมตกกระทบ 45 องศา และมุมหักเห 30 องศา อัตราเร็วคลื่นบริเวณ A เป็นกี่เซนติเมตรต่อวินาที ถ้าบริเวณ B ความยาวคลื่นเป็น 3 เซนติเมตร ความถี่ 50 เฮิรตซ์

1) 150 เซนติเมตรต่อวินาที
2) 212 เซนติเมตรต่อวินาที
3) 250 เซนติเมตรต่อวินาที
4) 300 เซนติเมตรต่อวินาที

14. S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ที่ให้คลื่นเฟสตรงกัน มีความถี่ 20 เฮิรตซ์ วางอยู่ห่างกัน 40 เซนติเมตร จุด A และจุด B เป็นตำแหน่งปฏิบัพ และระหว่างจุด A และ B จะมีตำแหน่งปฏิบัพอีก 7 ตำแหน่ง จงหาค่าอัตราเร็วของคลื่นที่ส่งออกมา



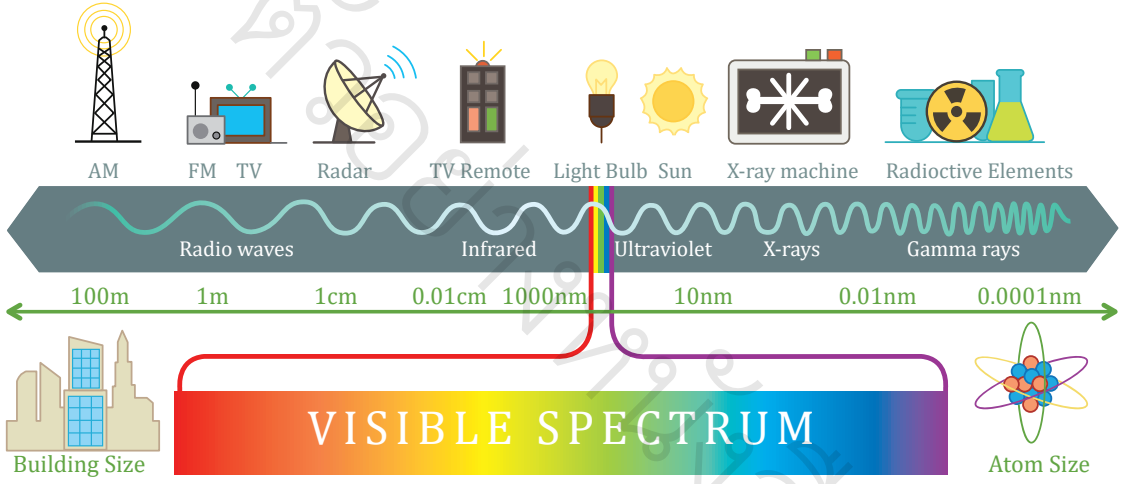
1) 0.5 เมตรต่อวินาที
2) 1 เมตรต่อวินาที
3) 1.5 เมตรต่อวินาที
4) 2 เมตรต่อวินาที

15. คลื่นขบวนหนึ่งมีคาบการสั่น 0.5 วินาที และระยะระหว่าง 2 จุด บนคลื่นที่มีมุมเฟสต่างกัน 5π เรเดียน เท่ากับ 30 เซนติเมตร จงหาค่าอัตราเร็วคลื่น

1) 0.06 เมตรต่อวินาที
2) 0.12 เมตรต่อวินาที
3) 0.18 เมตรต่อวินาที
4) 0.24 เมตรต่อวินาที

สรุปบทที่ 11
แสงเชิงรังสี

คลื่นแสง คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 400–700 nm โดยที่คลื่นแสงมีความแตกต่างจากคลื่นเสียง เพราะคลื่นเสียงเป็นคลื่นกล แต่แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

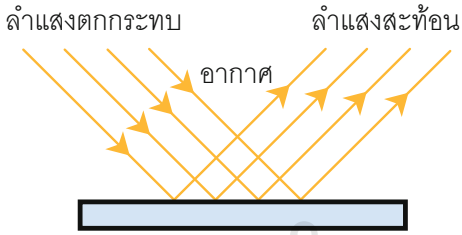


การเดินทางของคลื่นแสง

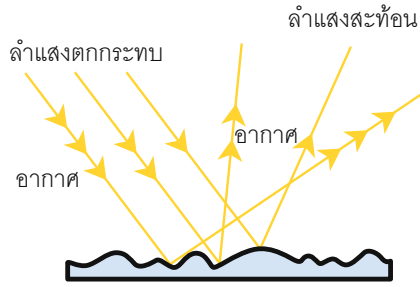
แสง	ตัวกลางของแสง	เงา
• แสงเดินทางเป็นเส้นตรง • มีอัตราเร็ว 3×10^8 m/s	โปร่งใส : ตัวกลางที่แสงผ่านได้หมด เช่น กระจกใส โปร่งแสง : ตัวกลางที่แสงผ่านได้บ้าง เช่น กระจกขุ่น กระดาษไข ทึบแสง : ตัวกลางที่ไม่ให้แสงผ่านได้ เช่น ท่อนไม้ เหล็ก	เกิดเมื่อมีวัตถุมาขวางทางเดินของแสง เงามืด : บริเวณที่แสงเดินทางไม่ถึงเลย เงามัว : บริเวณที่แสงเดินทางถึงบางส่วน

การสะท้อนของแสง

การสะท้อนของแสง เป็นการที่แสงเคลื่อนที่ไปยังตัวกลางทึบแสงที่มีผิวขัดมัน แล้วแสงจะเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งบนผิวที่แสงตกกระทบ และเคลื่อนที่ย้อนกลับในตัวกลางเดิม



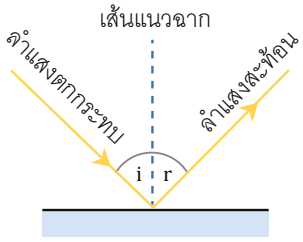
ผิวเรียบ



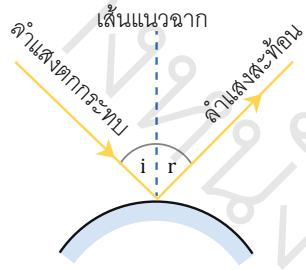
ผิวขรุขระ

กฎการสะท้อน 2 ข้อ ดังนี้

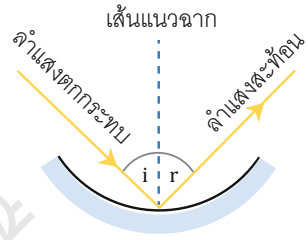
1. รังสีตกกระทบ เส้นแนวตั้งฉาก และรังสีสะท้อน อยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบ ($i = r$)



ผิวเรียบ



ผิวโค้งนูน

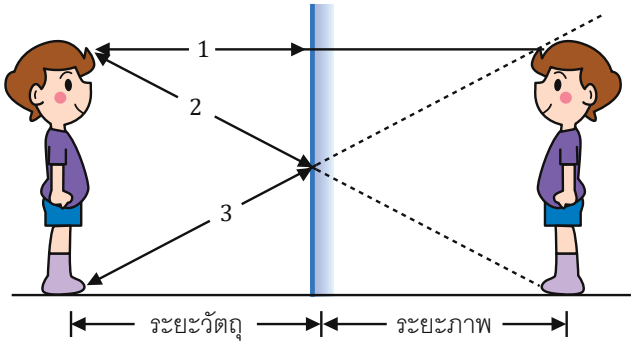


ผิวโค้งเว้า

เราสามารถมองเห็นวัตถุได้ เพราะแสงจากวัตถุนั้นมาเข้าตาเรา หรือแสงจากวัตถุนั้นสะท้อนมาเข้าตาเรา

▸ การสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบ

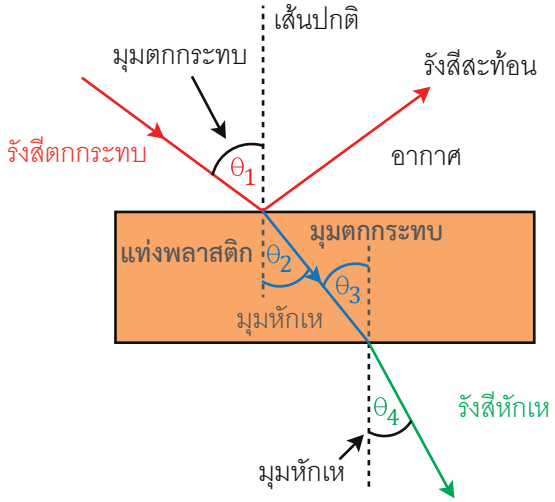
เมื่อวัตถุหรือตัวเราอยู่หน้ากระจกเงาราบ จะมีภาพเกิดขึ้นจากกระจกเงาราบนั้น โดยภาพที่เกิดขึ้นจะเป็น ดังนี้



การหักเหของแสง

การหักเหของแสง เป็นการเปลี่ยนแปลงทางการเคลื่อนที่ของแสง ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วเมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยทิศทางของแสงที่หักเหขึ้นกับว่าแสงนั้นเดินทางเข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าหรือน้อยกว่าเดิม ซึ่งมีผลให้แสงเดินทางช้าลงหรือเร็วขึ้นกว่าเดิมด้วย

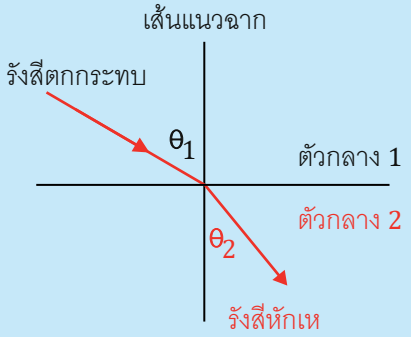
- หากแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก (n มาก) เข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย (n น้อย) แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติ
- หากแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย (n น้อย) เข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก (n มาก) แสงจะหักเหเข้าหาเส้นปกติ



กฎการหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเกิดการหักเห และต้องเป็นไปตามกฎการหักเห คือ รังสีหักเหต้องอยู่ในระนาบเดียวกันกับรังสีตกกระทบและเส้นปกติ ณ จุดกระทบ

ดรรชนีหักเห (n) เกิดจากการเคลื่อนที่ของแสงในตัวกลางต่างชนิดกันจะมีอัตราเร็วต่างกัน ถ้าแสงเดินทางจากตัวกลางที่ 1 เข้าสู่ตัวกลางที่ 2 โดยกำหนดให้

$$ {}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} $$



θ_1 คือ มุมตกกระทบในตัวกลางที่ 1
θ_2 คือ มุมตกกระทบในตัวกลางที่ 2
n_1 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 1
n_2 คือ ดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 2
v_1 คือ อัตราเร็วแสงในตัวกลางที่ 1
v_2 คือ อัตราเร็วแสงในตัวกลางที่ 2
λ_1 คือ ความยาวคลื่นแสงในตัวกลางที่ 1
λ_2 คือ ความยาวคลื่นแสงในตัวกลางที่ 2
${}_1n_2$ คือ ค่าดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

ตัวอย่างหนังสือ

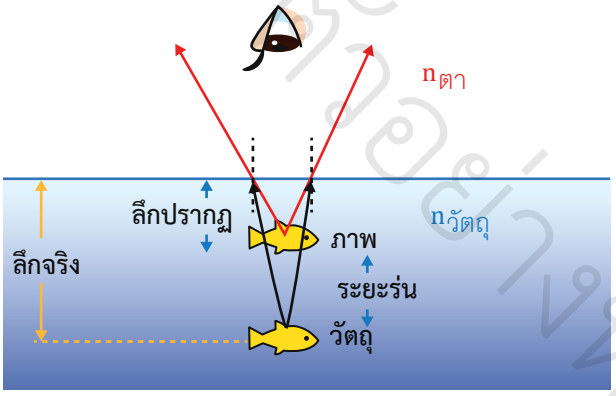
ความลึกปรากฏ เกิดจากการมองเห็นวัตถุในแนวตรงและแนวเฉียง เช่น เมื่อเรามองเห็นปลาที่อยู่ในน้ำ ไม่ว่าจะมองในแนวตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลาง (มองตรงๆ) ก็ตาม จะพบว่าปลาอยู่ตื้นมากกว่าความเป็นจริง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงนั่นเอง

ข้อควรจำ

1) **ความลึกจริง (ระยะวัตถุ)** คือ ระยะตั้งฉากจากผิวรอยต่อของตัวกลางไปถึงตำแหน่งที่วัตถุอยู่
2) **ความลึกปรากฏ (ระยะภาพ)** คือ ระยะตั้งฉากจากรอยต่อของตัวกลางไปถึงตำแหน่งที่ภาพอยู่
3) **ระยะร่น (ระยะใกล้หรือไกลกว่าความจริง)** คือ ผลต่างระหว่างความลึกจริงกับความลึกปรากฏ

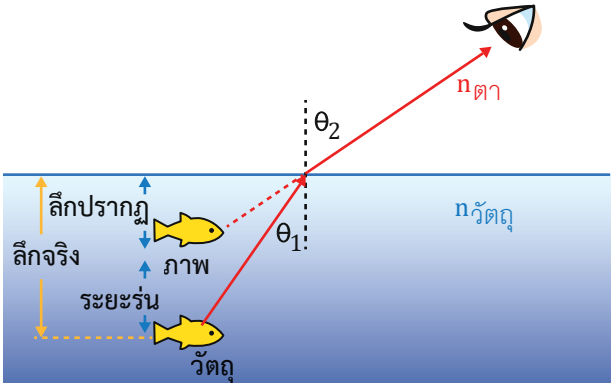
การคำนวณความลึกปรากฏ

1. กรณีมองตรง



$$\frac{\text{ลึกปรากฏ } (d')}{\text{ลึกจริง } (d)} = \frac{n_{\text{ตา}}}{n_{\text{วัตถุ}}}$$

2. กรณีมองเอียง



$$\frac{\text{ลึกปรากฏ } (d')}{\text{ลึกจริง } (d)} = \frac{n_{\text{ตา}} \cos\theta_2}{n_{\text{วัตถุ}} \cos\theta_1}$$

ระยะร่น เกิดจากระยะที่มองเห็นภาพของวัตถุใกล้หรือไกลกว่าความเป็นจริง ซึ่งสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างความลึกจริงกับความลึกปรากฏ

$$\text{ระยะร่น} = d\left(1 - \frac{1}{n_{\text{วัตถุ}}}\right) \text{ แต่ถ้าตัวกลางไม่ใช่อากาศ ระยะร่น} = d\left(1 - \frac{n_{\text{ตา}}}{n_{\text{วัตถุ}}}\right)$$

การเกิดภาพจากเลนส์บาง

ภาพที่เกิดจากเลนส์บาง สามารถเกิดได้ทั้งหน้าเลนส์บางและหลังเลนส์บาง โดยถ้าแสงหักเหผ่านเลนส์บางไปตัดกันจริง จะเกิดภาพที่หลังเลนส์บาง ถ้าแสงหักเหผ่านเลนส์บางแล้วเสมือนไปตัดกันหน้าเลนส์บาง จะเกิดภาพที่หน้าเลนส์บาง

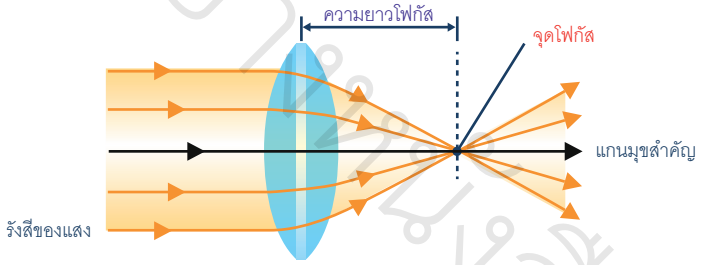
การหาภาพจากเลนส์นูนสามารถทำได้โดยเขียนรังสี 3 เส้น โดยลากจากส่วนปลายบนของวัตถุมาผ่านเลนส์ คือ

- เส้นรังสีของแสงที่ขนานกับ**เส้นแกนมุขสำคัญ** (Axis)
- เส้นรังสีของแสงที่ผ่านโฟกัสด้านหน้าเลนส์
- เส้นรังสีของแสงที่ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์

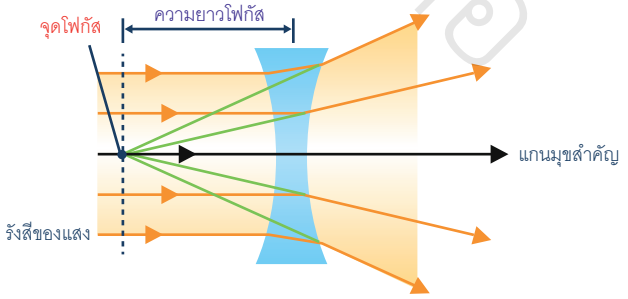
โดยต่อเส้นรังสีหักเหจากรังสีตกกระทบทั้งสามจนตัดกันจะเป็นตำแหน่งภาพปลายบนของวัตถุ จากนั้นวาดภาพวัตถุส่วนที่เหลือทั้งหมดจากภาพปลายบนไปตั้งฉากกับแกนมุขสำคัญ ถ้ารังสีของแสงหักเหไปตัดกันจริง จะได้ภาพจริง มีลักษณะกลับหัวกับวัตถุ

ประเภทของเลนส์

1. เลนส์นูน (Convex lens) ใช้รวมแสง



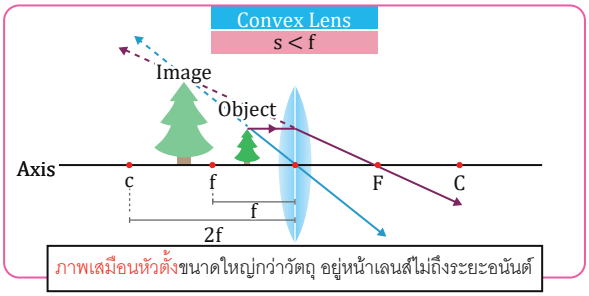
2. เลนส์เว้า (Concave lens) ใช้กระจายแสง



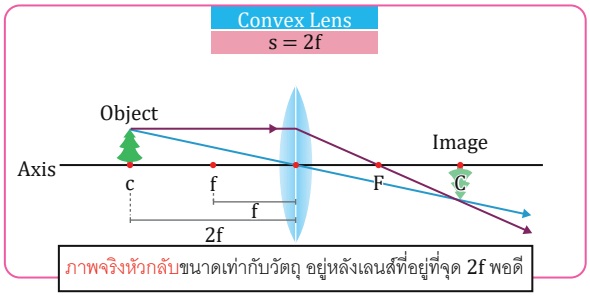
ระยะวัตถุ (s) และระยะโฟกัส (f) ของเลนส์เว้า

เมื่อวางวัตถุที่ระยะต่างๆ กัน จะได้ภาพเสมือนหัวตั้งขนาดเล็กกว่าวัตถุ ปรากฏที่ตำแหน่งระหว่างหน้าเลนส์กับระยะโฟกัส

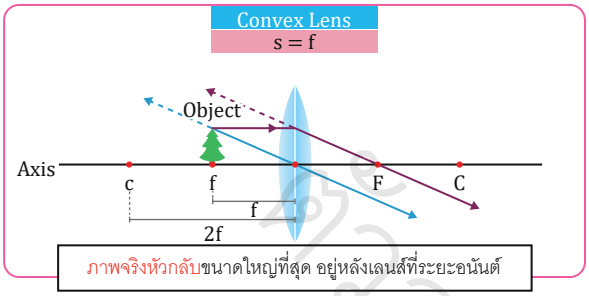
ยกเว้น ถ้าวัตถุอยู่ไกลมากที่ระยะอนันต์ จะได้ภาพเสมือน เป็นจุดที่ระยะโฟกัสของหน้าเลนส์



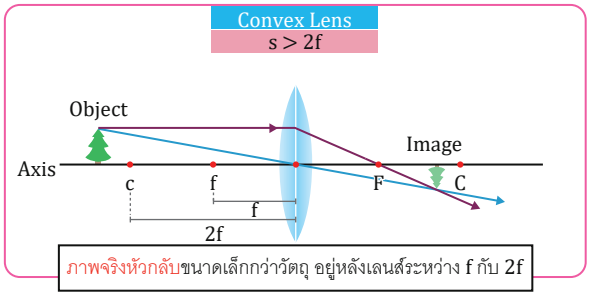
ภาพเสมือนหัวตั้งขนาดใหญ่กว่าวัตถุ อยู่หน้าเลนส์ไม่ถึงระยะอนันต์



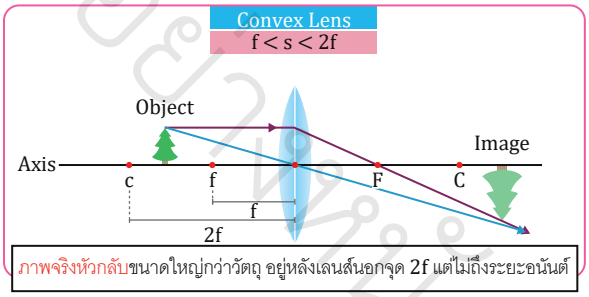
ภาพจริงหัวกลับขนาดเท่ากับวัตถุ อยู่หลังเลนส์ที่อยู่ที่จุด 2f พอดี



ภาพจริงหัวกลับขนาดใหญ่ที่สุด อยู่หลังเลนส์ที่ระยะอนันต์



ภาพจริงหัวกลับขนาดเล็กกว่าวัตถุ อยู่หลังเลนส์ระหว่าง f กับ 2f



ภาพจริงหัวกลับขนาดใหญ่กว่าวัตถุ อยู่หลังเลนส์นอกจุด 2f แต่ไม่ถึงระยะอนันต์

ชนิดของภาพที่เกิดจากเลนส์ ภาพที่เกิดจากเลนส์ มี 2 ชนิด คือ

1. ภาพจริง มีลักษณะ ดังนี้

1) เกิดจากรังสีแสงหักเหไปตัดกันจริง ณ จุดที่เกิดภาพด้านหลังเลนส์
2) ต้องเกิดบนฉาก หรือใช้ฉากรับได้
3) มีลักษณะหัวกลับกับวัตถุ

2. ภาพเสมือน มีลักษณะ ดังนี้

1) เกิดจากการต่อแนวรังสีให้ไปตัดกัน ณ จุดที่เกิดภาพด้านหน้าเลนส์
2) มองเห็นได้โดยไม่ต้องใช้ฉากรับ หรือฉากรับไม่ได้
3) มีลักษณะหัวตั้งเหมือนวัตถุ (หันหัวไปทางทิศทางเดียวกับวัตถุ)