

SHORTCUT กวดวิชา

ฟิสิกส์

ม.ปลาย

สรุปเนื้อหาเข้มข้น และถึงข้อสอบอย่างตรงจุด



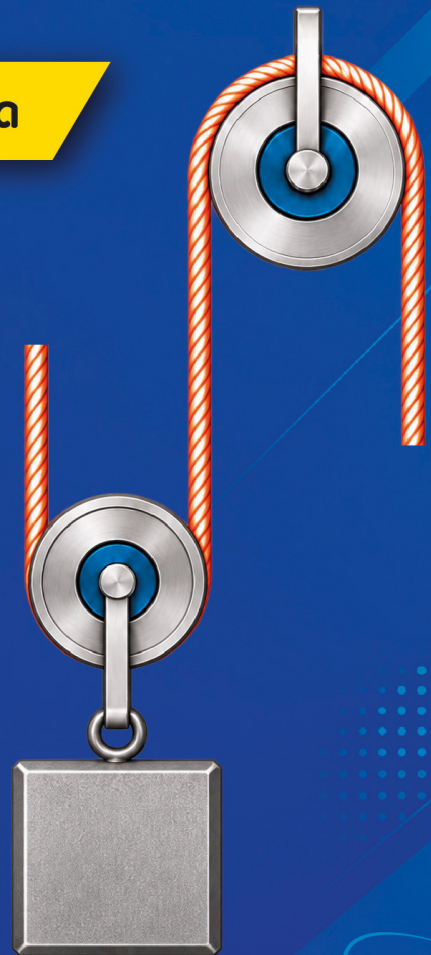
คู่มือสรุปเนื้อหาเตรียมสอบวิชาฟิสิกส์
ม.4-6 อ่านเข้าใจง่าย



รวมแนวข้อสอบฟิสิกส์ พร้อมเฉลย
อย่างละเอียด สำหรับการสอบทุกระดับ
เช่น แนวข้อสอบ O-NET วิทยาศาสตร์
(ส่วนฟิสิกส์), TPAT3 (ส่วนเชิงกลและฟิสิกส์)
และ A-Level ฟิสิกส์



โดย อ.ชัชรินทร์ แซ่เอี้ย วท.บ. (ฟิสิกส์),
ป.บัณฑิต (หลักสูตรและการสอน)



เจาะลึก เข้าใจง่าย มั่นใจในทุกสนามสอบ



สารบัญ

Introduction	1
คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์.....	2
• หน่วยวัดปริมาณ.....	3
• เลขนัยสำคัญ (Significant Figures)	5
• ทฤษฎีบทพีทาโกรัส (Pythagoras Theorem)	6
• ฟังก์ชันตรีโกณมิติ	6
• ลอการิทึมสามัญ (Common Logarithms).....	7
Chapter 1 กลศาสตร์ของแข็ง	9
การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Straight Motion).....	10
• การกระจัด (Displacement).....	12
• ความเร็ว (Velocity).....	13
• ความเร่ง (Acceleration).....	19
การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile Motion).....	27
• ความเร็วการเคลื่อนที่แนวระดับ (v_x).....	27
• ความเร็วการเคลื่อนที่แนวตั้ง (v_y).....	28
โมเมนตัม (Momentum).....	33
• กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน.....	33
• การชนแบบยืดหยุ่น (Elastic Collision).....	34
• การชนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Collision)	35
แรง (Force)	37
• กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน	37
• กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน.....	39
• แรงเสียดทาน (Friction Force).....	41
• แรงดึงเชือก (Tension) แนวระดับ	44
• แรงดึงเชือก (Tension) แนวตั้ง	46
• แรงแนวตั้งกับแนวระดับ.....	49
• การกระจายแรงไปยังจุดรับแรงในแนวตั้ง	50
• แรงทำมุมกับแนวตั้ง.....	51
• แรงแนวพื้นเอียง	51
การเคลื่อนที่แบบวงกลม (Circular Motion).....	57
• ขนาดของแรงสู่ศูนย์กลาง	58
• แรงดึงดูดระหว่างมวล.....	60
การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotational Motion).....	61
• ระยะทางเชิงมุม (Angular Distance).....	61



Shortcut กวดวิชาฟิสิกส์ ม.ปลาย

• อัตราเร็วเชิงมุม (Angular Speed).....	61
• อัตราเร่งเชิงมุม.....	62
• โมเมนต์ความเฉื่อย.....	62
• โมเมนต์เชิงมุม (Angular Momentum)	63
• ทอร์ก (Torque).....	64
การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion).....	65
• ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลากับความยาวเชือก.....	66
งานและพลังงาน (Work and Energy).....	69
• พลังงานศักย์ (Potential Energy).....	70
• พลังงานจลน์ (Kinetic Energy)	70
• พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Potential Energy).....	73
• กำลัง (Power).....	75
• การได้เปรียบเชิงกล (Mechanical Advantage).....	76
สมดุล (Equilibrium).....	78
• สมดุลของการย้ายแนวแรง (Translational Equilibrium)	78
• สมดุลรอบจุดหมุน (Moment).....	81
• โมเมนต์แรงคู่ควบ	87
สภาพยืดหยุ่น	88
• ยืดมอดูลัส (Young Modulus).....	89
• เชียร์มอดูลัส (Shear Modulus)	90
• บัลค์มอดูลัส (Bulk Modulus).....	90

Chapter 2 กลศาสตร์ของไหล

91

ความดันของเหลว (Fluid Pressure).....	92
• ความหนาแน่นมวล (Mass Density)	92
• ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density)	92
• ความดันข้างภาชนะ.....	94
• แรงข้างภาชนะ	94
• กฎปาสกาล (Pascal's Law)	95
• ระบบ Hydraulic.....	95
• การได้เปรียบเชิงกล (Mechanical Advantage).....	95
• แรงพยุง (Buoyant Force).....	96
• ความตึงผิวของเหลว (Surface Tension).....	101
• ความหนืด (Viscosity)	101
พลศาสตร์ของไหล (ของเหลวและก๊าซ)	102
• อัตราการไหล (Flow Rate).....	102
• สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)	103
• กฎของทอร์ริเซลลี (Torricelli's Law).....	104
• เครื่องวัดความดันอากาศ.....	105



• เครื่องวัดความดันแก๊ส.....	106
ความดันแก๊ส (Gas Pressure)	107
• ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส	110
• อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic).....	112
• พลังงานในระบบ.....	114
• งานที่แก๊สกระทำต่อสิ่งแวดล้อม	114
• สมดุลทางความร้อน.....	115

Chapter 3 กลศาสตร์คลื่น

119

คลื่นกล (Mechanical Wave)	120
• ส่วนประกอบของคลื่น	120
• คุณสมบัติของคลื่น.....	122
คลื่นเสียง (Sound Wave)	128
• การสั่นพ้อง (Resonance)	131
• ดอปเพลอร์ (Doppler).....	134
• คลื่นกระแทก (Shock Wave).....	134
• ความเข้มเสียง (Intensity).....	135
• ระดับความดังของเสียง (Sound Level).....	136
• ระดับเสียงสูงต่ำ (Pitch).....	137
• คุณภาพเสียง (Quality).....	137
คลื่นแสง (Light Wave)	138
• การเลี้ยวเบนและแทรกสอดของแสง	138
• การสะท้อนของแสงบนกระจกเงา	140
• การหักเหของแสงผ่านเลนส์.....	144
• กำลังขยาย (Magnify).....	149
• ความเข้มและความสว่างของแสง.....	150

Chapter 4 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก

153

ไฟฟ้าสถิต.....	154
• สนามไฟฟ้า.....	155
• ศักย์ไฟฟ้า	156
• ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า	158
• ตัวนำไฟฟ้า (Conductor).....	159
• ฉนวนไฟฟ้า (Insulator).....	159
• สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor).....	160
• การเหนี่ยวนำ (Induction).....	160
• อุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor or Condenser).....	160
ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)	164
• การนำไฟฟ้า (Electrical Conductance).....	165



Shortcut กวดวิชาฟิสิกส์ ม.ปลาย



• ฟิวส์ (Fuse).....	165
• ไดโอด (Diode).....	165
• ความต้านทาน (Resistance).....	166
• เซลล์ไฟฟ้า.....	170
• กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer).....	173
• แอมมิเตอร์.....	173
• โวลต์มิเตอร์.....	174
• โอห์มมิเตอร์.....	174
• กำลังไฟฟ้า (Power).....	175
• จำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้า.....	176
ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current).....	177
• ศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	179
• ขดลวดเหนี่ยวนำ (Coil).....	180
• ตัวเก็บประจุ (Capacitor).....	181
• ความต้านทานเชิงซ้อน Impedance (ความต้านทานรวมวงจร RLC).....	182
• กำลังไฟ (Power).....	188
• หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Transformer).....	189
แม่เหล็ก (Magnetic).....	190
• แรงสนามแม่เหล็กกระทำต่อประจุไฟฟ้า.....	190
• แรงสนามแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวดตัวนำ.....	192
• กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์.....	193
• กฎของเลนซ์ (Lenz).....	193
• มอเตอร์กระแสตรง.....	194
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave).....	194
• สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectrum).....	195

Chapter 5 ฟิสิกส์อะตอม

199

กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics).....	200
• ฟิสิกส์แผนใหม่.....	200
• ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton Effect).....	204
• สมมติฐานเดอ บรอยล์ (De Broglie's Hypothesis).....	204
นิวเคลียร์ (Nuclear).....	206
• สัญลักษณ์นิวเคลียร์ ${}_Z^AX$	206
• กัมมันตภาพ (Activity).....	207
• เวลาครึ่งชีวิต (Half Life).....	208
• ความน่าจะเป็นของการสลายตัว.....	210
• ปฏิกิริยาฟิชชัน (Nuclear Fission).....	211
• ปฏิกิริยาฟิวชัน (Nuclear Fusion).....	211



Chapter 6 สรุปสูตรฟิสิกส์

213

สูตรคณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์.....	214
สูตรกลศาสตร์ของแข็ง.....	214
• การเคลื่อนที่แบบเส้นตรงกรณีความเร็วคงตัว.....	214
• การเคลื่อนที่แบบเส้นตรงกรณีความเร็วไม่คงตัว.....	214
• การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์.....	215
• โมเมนตัม.....	215
• แรง.....	215
• การเคลื่อนที่แบบหมุน.....	215
• การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก.....	215
• งานและพลังงาน.....	216
• สมดุล.....	216
• สภาพยืดหยุ่น.....	216
สูตรกลศาสตร์ของไหล.....	216
• ของเหลว.....	216
• แก๊ส.....	217
• อุณหพลศาสตร์.....	217
สูตรกลศาสตร์คลื่น.....	217
• คลื่นกล.....	217
• คลื่นเสริม (ปฏิบัพ A).....	217
• คลื่นหักล้าง (บัพ N).....	217
• คลื่นเสียง.....	218
• คลื่นแสง.....	218
สูตรเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก.....	218
• ไฟฟ้าสถิต.....	218
• ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	219
• แม่เหล็ก.....	220
สูตรฟิสิกส์อะตอม.....	220
• ควอนตัม.....	220
• นิวเคลียร์.....	220

Exam 1 แนวข้อสอบ O-NET

221

• เฉลยแนวข้อสอบ O-NET.....	234
----------------------------	-----

Exam 2 แนวข้อสอบ TPAT3 (เชิงกลและฟิสิกส์)

247

• เฉลยแนวข้อสอบ TPAT3 (เชิงกลและฟิสิกส์).....	254
---	-----

Exam 3 แนวข้อสอบ A-Level ฟิสิกส์

263

• เฉลยแนวข้อสอบ A-Level ฟิสิกส์.....	280
--------------------------------------	-----



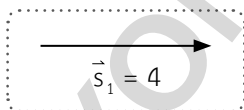
Shortcut กวดวิชาฟิสิกส์ ม.ปลาย



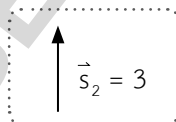
คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์

ฟิสิกส์ (Physics) เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นพื้นฐานจำเป็นสำหรับศึกษาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (เทคโนโลยี) แขนงต่างๆ โดยเฉพาะวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม เนื้อหาหลักศึกษาเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ กลศาสตร์ของแข็ง กลศาสตร์ของไหล กลศาสตร์คลื่น แม่เหล็ก ไฟฟ้า ฟิสิกส์อะตอม และนิวเคลียร์ เกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณและการคำนวณโดยอ้างอิงทฤษฎีในช่วงร้อยปีที่ผ่านมาของนักวิทยาศาสตร์ชาวยุโรป ซึ่งเป็นยุคเริ่มต้นของวิทยาศาสตร์ จุดประกายให้คนรุ่นหลังได้สร้างเทคโนโลยีขึ้นมามากมายในปัจจุบัน ปริมาณที่ใช้ในการคำนวณทางฟิสิกส์มี 2 ประเภท ได้แก่ ปริมาณสเกลาร์ (Scalar) ใช้บอกขนาดไม่ระบุทิศทาง สามารถหาปริมาณได้จากสเกลบนเครื่องมือวัด เช่น ไม้บรรทัด นาฬิกา หรือมิเตอร์ต่างๆ ปริมาณเวกเตอร์ (Vectors) ใช้บอกขนาดและทิศทาง เช่น น้ำหนัก (Weight) ใช้สัญลักษณ์ $\vec{W}$ (ลูกศรด้านบนหมายถึงมีทิศทาง) น้ำหนักมีทิศทางจากบนลงล่าง ปริมาณเวกเตอร์สามารถย้ายตำแหน่งไปไว้ในที่แห่งใดก็ได้ (Space) โดยคงขนาดและทิศทางเดิม เช่น

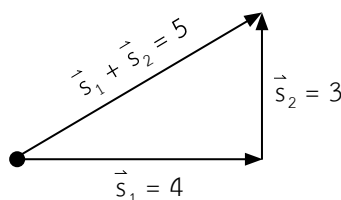
กำหนดให้ระยะตามแนวตรง $\vec{s}_1$ มีขนาด 4 หน่วย ทิศจากซ้ายไปขวา ใช้เส้นตรงที่มีหัวลูกศรแสดงปริมาณเวกเตอร์ ได้ดังนี้



ให้ระยะตามแนวตรง $\vec{s}_2$ มีขนาด 3 หน่วย ทิศจากใต้ไปเหนือ ใช้เส้นตรงที่มีหัวลูกศรแสดงปริมาณเวกเตอร์ ได้ดังนี้



กรณีต้องการรวมระยะของเส้นทั้งสองโดยไม่คำนึงถึงทิศทาง จะใช้ปริมาณสเกลาร์ $4 + 3$ รวมได้ขนาด 7 หน่วย แต่ถ้าต้องรวมระยะของเส้นทั้งสองโดยคำนึงถึงทิศทางด้วยแล้ว จะใช้ปริมาณเวกเตอร์รวมโดยวิธีหาเวกเตอร์ลัพธ์



จากรูป นำเวกเตอร์แรก $\vec{s}_1$ ตั้งไว้โดยให้คงขนาดและทิศเดิม จากนั้นนำหางลูกศรของเวกเตอร์ที่สอง $\vec{s}_2$ มาต่อที่หัวลูกศรของเวกเตอร์แรก $\vec{s}_1$ โดยคงขนาดและทิศเดิมเช่นกัน เวกเตอร์ลัพธ์ ($\vec{s}_1 + \vec{s}_2$) มีขนาดและทิศเท่ากับเส้นตรงเชื่อมระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุดสุดท้าย ซึ่งเป็นระยะสั้นที่สุดหรือทางลัดขนาด 5 หน่วย มีทิศตามรูป ขนาดเวกเตอร์ลัพธ์ที่ได้ต่างไปจากการรวมโดยใช้ปริมาณสเกลาร์



Shortcut กวดวิชาฟิสิกส์ ม.ปลาย



ตัวอย่างที่ 2 ปลอยก้อนหินตกจากที่สูงสู่พื้น ความเร็วและความเร่งขณะกำลังกระทบพื้นต่างจากขณะกำลังเคลื่อนที่อย่างไร

วิธีทำ ขณะลงความเร็วและความเร่งที่สลับ $-v = -u -gt$

ขณะปล่อยความเร็วต้น $u = 0$

$$-v = -gt$$

g คงที่ความเร็วขึ้นกับเวลา $v \propto t$

ขณะใกล้พื้นใช้เวลาเดินทางลงมามากกว่าขณะอยู่ที่สูง จึงทำให้ความเร็วขณะกระทบพื้นมากกว่าขณะอยู่ที่สูง

ดังนั้น ความเร็วจะเพิ่มขึ้น และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าคงตัวที่ 9.8 เมตร/วินาที²

ตอบ

ตัวอย่างที่ 3 ทหารพลร่ม 2 คน โดร่มในท่าเดียวกัน คนที่ 2 โดหลังจากคนแรก 1 วินาที ขณะร่มยังไม่กาง ระยะห่างระหว่างทหารทั้ง 2 คน มีลักษณะอย่างไร

วิธีทำ เปรียบเทียบระยะจาก $s = ut + \frac{1}{2}gt^2$

ขณะโดด $u = 0$ และ g เท่ากัน

ดังนั้น $s \propto \frac{1}{2}t^2$

วินาทีที่ 1 คนแรกได้ระยะ $s_1 \propto \frac{1}{2}(1)^2 \propto \frac{1}{2}$ คนที่สองได้ระยะ 0 นั่นคือ ห่างกัน 0.5

วินาทีที่ 2 คนแรกได้ระยะ $s_2 \propto \frac{1}{2}(2)^2 \propto 2$ คนที่สองได้ระยะ 0.5 นั่นคือ ห่างกัน 1.5

วินาทีที่ 3 คนแรกได้ระยะ $s_3 \propto \frac{1}{2}(3)^2 \propto 4.5$ คนที่สองได้ระยะ 2 นั่นคือ ห่างกัน 2.5

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไปทหารทั้งสองอยู่ห่างกันมากขึ้น

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4 ก้อนหินตกจากที่สูง 50 เมตร มีความเร็วขณะถึงพื้นมากกว่าตกจากที่สูง 5 เมตร กี่เท่า

วิธีทำ เปรียบเทียบความเร็วจาก $(-v)^2 = (-u)^2 + 2(-g)(-h)$

$$v^2 = u^2 + 2gh$$

แทน $h = 50$ จะได้

$$v_{50}^2 = 0 + 2(9.8)50$$

$$v_{50}^2 = 980$$

ความเร็วตกจากที่สูง 50 เมตร

$$v_{50} = \sqrt{980}$$

แทน $h = 5$ จะได้

$$v_5^2 = 0 + 2(9.8)5 = 98$$

ความเร็วตกจากที่สูง 5 เมตร

$$v_5 = \sqrt{98}$$

ความเร็วตกจากที่สูง 50 เมตร เทียบกับความเร็วตกจากที่สูง 5 เมตร

$$\frac{v_{50}}{v_5} = \frac{\sqrt{980}}{\sqrt{98}} = \frac{\sqrt{98} \times \sqrt{10}}{\sqrt{98}} = \sqrt{10}$$

$$v_{50} = \sqrt{10} v_5$$

ดังนั้น ความเร็วขณะถึงพื้นเมื่อตกจากที่สูง 50 เมตร

มากกว่าตกจากที่สูง 5 เมตร $\sqrt{10}$ เท่า

ตอบ

รอกเคลื่อนที่

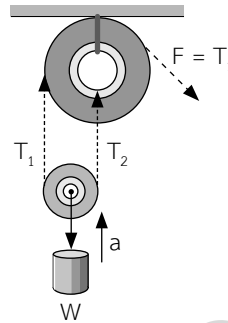
แรงดึง - น้ำหนัก = แรงลัพธ์

$$T_1 + T_2 - W = ma$$

$$T_1 + T_2 - mg = ma$$

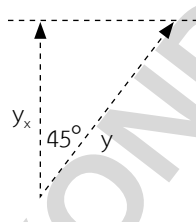
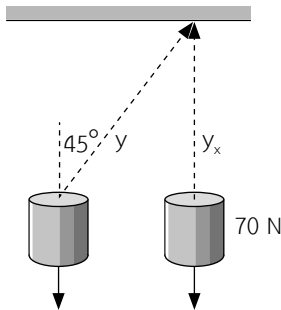
$$T_1 + T_2 = ma + mg$$

$$T_1 = m(a + g) - T_2$$



แรงทำมุมกับแนวตั้ง

แรงทำมุม θ กับแนวตั้ง สามารถเทียบหาขนาดได้จากแรงแนวตั้ง จากรูปให้เวกเตอร์แรงแนวตั้ง 70 นิวตัน คือ ด้าน y_x และแรงทำมุม 45° กับแนวตั้งที่ต้องการหาขนาด คือ ด้าน y



$$\begin{aligned} \frac{\text{ชิดมุมชิดฉาก}}{\text{ตรงข้ามฉาก}} &= \frac{y_x}{y} = \cos 45^\circ \\ \frac{y_x}{\cos 45^\circ} &= y \\ \frac{70}{0.7} &= y \\ y &= 100 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

แรงแนวพื้นเอียง

ขนาดแรงแนวระดับหรือแนวตั้งหาได้จาก $F = ma$ กรณีแรงเคลื่อนที่บนพื้นเอียงจะต้องปรับขนาดแรงก่อนนำไปใช้กับแนวระดับหรือแนวตั้ง โดยเทียบแรงบนพื้นเอียงกับแนวระดับหรือแนวตั้ง กรณีแรง $+F$ มีทิศขึ้นพื้นเอียงให้เทียบกับแนวตั้ง $+F_y$ เสมือนถูกดึงขึ้นตั้งฉากกับพื้นในทิศ $+y$ ส่วนแรงเสียดทาน $-f$ เทียบกับแนวระดับ $-f_x$ เสมือนอยู่บนพื้นในทิศ $-x$ กรณีแรง $-F$ มีทิศลงพื้นเอียงให้เทียบกับแนวตั้ง $-F_y$ เสมือนกำลังตกในทิศ $-y$ ส่วนแรงเสียดทาน $+f$ เทียบกับแนวระดับ $+f_x$ ในทิศ $+x$

มวลเคลื่อนที่บนพื้นเอียงด้วยความเร่ง

หาขนาดแรงพื้นเอียงเทียบกับแรงแนวตั้งได้จากด้านประกอบมุมฉากของสามเหลี่ยมดังรูป จะได้ขนาดแรงแนวพื้นเอียง F_y ที่สามารถนำไปใช้ได้กับสูตร $F = ma$

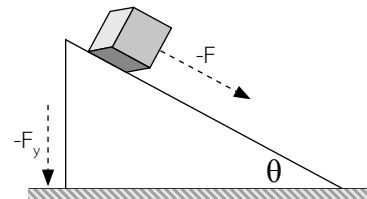
$$\frac{\text{ตรงข้ามมุม}}{\text{ตรงข้ามฉาก}} = \sin \theta$$

$$\frac{-F_y}{-F} = \sin \theta$$

$$\text{แรงแนวตั้งเทียบแรงพื้นเอียง} \quad F_y = F \sin \theta$$

$$\text{แรงแนวตั้งขณะเคลื่อนที่} \quad F_y = ma$$

$$\text{แรงพื้นเอียงขณะเคลื่อนที่} \quad F \sin \theta = ma$$





ตัวอย่างที่ 2 รถยนต์มวล 1 ตัน ใช้อัตราเร่ง 2 เมตร/วินาที² ใน 1 วินาที รถยนต์ใช้กำลังม้าเท่าใด เพื่อเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 37.3 เมตร (1 hp = 746 วัตต์)

วิธีทำ

หาคำลัง $P = \frac{W}{t}$

แทน W ด้วย Fs $P = \frac{Fs}{t}$

แทน F ด้วย ma $P = \frac{(ma)s}{t}$

$$P = \frac{(1,000 \times 2)37.3}{1}$$

$$= 74,600 \text{ วัตต์}$$

เปลี่ยนวัตต์เป็นกำลังม้า $746 \text{ วัตต์} = 1 \text{ hp}$

$$74,600 \text{ วัตต์} = \frac{74,600}{746} \text{ hp} = 100 \text{ hp}$$

ดังนั้น รถยนต์ใช้กำลัง 100 กำลังม้า

ตอบ

การได้เปรียบเชิงกล (Mechanical Advantage)

ใช้หาอัตราการผ่อนแรงของเครื่องกล หากเทียบแล้วได้อัตราส่วนมากกว่า 1 แสดงว่าเครื่องกลนั้นช่วยผ่อนแรง

การได้เปรียบเชิงกล = แรงที่ได้ (F_{out}) เทียบกับแรงที่ใช้ไป (F_{in})

$$M.A. = \frac{F_{out}}{F_{in}}$$

หรือระยะที่ได้เทียบกับระยะที่ใช้ไป $= \frac{S_{out}}{S_{in}}$

ประสิทธิภาพเครื่องกล = กำลังที่ได้ (P_{out}) เทียบกับกำลังที่ให้ (P_{in})

$$= \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

หรืองานที่ได้เทียบกับงานที่ให้เครื่องกล $= \frac{W_{out}}{W_{in}}$

ร้อยละประสิทธิภาพเครื่องกล = (งานที่ได้ W_{out} ต่องานที่ให้ W_{in}) $\times 100\%$

$$= \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\%$$

ตัวอย่างที่ 1 T_1 และ T_2 ยกมวล 1 กิโลกรัม ด้วยรอกและเชือกเบาให้มวลลอยสูงจากพื้น 1 เมตร ดังรูป มวลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเป็นเวลา 1 วินาที (กำหนดให้ $g = 10$ เมตร/วินาที²)

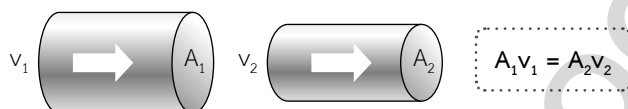
- จงหาขนาดของ
1. แรง T_1 และ T_2
 2. งาน T_1 และ T_2
 3. กำลัง T_1 และ T_2



พลศาสตร์ของไหล (ของเหลวและก๊าซ)

อัตราการไหล (Flow Rate)

เป็นอัตราเร็วของของไหลซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน อัตราการไหลเป็นไปตามสมการความต่อเนื่อง (Equation of Continuity)



เมื่อพื้นที่หน้าตัดที่ A_1 เล็กลงเป็น A_2 จะทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างที่ 1 น้ำไหลผ่านท่อทรงกระบอกรัศมี R และ $2R$ ด้วยอัตราการไหลเท่ากัน ถ้าอัตราเร็วในท่อรัศมี R เท่ากับ v_1 อัตราเร็วในท่อรัศมี $2R$ เป็นกี่เท่าของท่อรัศมี R

วิธีทำ ให้อัตราการไหลในท่อรัศมี R เป็น A_1v_1 และอัตราการไหลในท่อรัศมี $2R$ เป็น A_2v_2

$$A_2v_2 = A_1v_1$$

พื้นที่หน้าตัด $A = \pi R^2$

$$\pi(2R)^2v_2 = (\pi R^2)v_1 \dots \text{ระวัง } (2R)^2 \text{ ไม่ใช่ } (2R^2)$$

$$v_2 = \left(\frac{R^2}{2 \times 2R^2} \right) v_1$$

$$v_2 = \left(\frac{1}{4} \right) v_1$$

ดังนั้น อัตราเร็วท่อรัศมี $2R$ มีขนาดหนึ่งในสี่ของท่อรัศมี R

ตอบ

ตัวอย่างที่ 2 น้ำไหลผ่านท่อทรงกระบอกรัศมี 4 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 1 เมตร/วินาที ต้องการเพิ่มอัตราเร็วเป็น 4 เมตร/วินาที จะต้องเปลี่ยนท่อเป็นขนาดรัศมีกี่เมตร

วิธีทำ ให้อัตราการไหลในท่อรัศมี R เป็น A_1v_1 และอัตราการไหลในท่อรัศมี $2R$ เป็น A_2v_2

$$A_1v_1 = A_2v_2$$

พื้นที่หน้าตัด $A = \pi r^2$

$$\pi r_1^2 v_1 = \pi r_2^2 v_2$$

$$r_1^2 v_1 = r_2^2 v_2$$

$$4^2 \times 1 = r_2^2 \times 4$$

$$\frac{16}{4} = r_2^2$$

$$4 = r_2^2$$

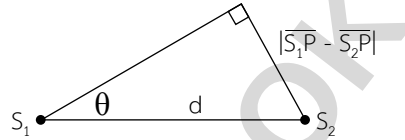
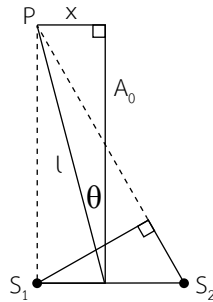
$$r_2 = \sqrt{4} = 2 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น จะต้องเปลี่ยนท่อเป็นขนาดรัศมี 2 เมตร

ตอบ

การหาระยะระหว่างจุด P

บนแนวแทรกสอดกับแนว A_0 ซึ่งเป็นแนวกึ่งกลางระหว่าง S_1 กับ S_2



จุด P ทำมุม θ กับแนว A_0 ด้าน x ตรงข้ามมุม θ เทียบกับด้าน l ตรงข้ามมุมฉากมีค่าเท่ากับ $\sin \theta$

$$\frac{x}{l} = \sin \theta$$

d คูณตลอด $d\left(\frac{x}{l}\right) = d \sin \theta$ ← 1

ด้าน $|S_1P - S_2P|$ ตรงข้ามมุม θ เทียบกับด้าน d ตรงข้ามมุมฉากเท่ากับ $\sin \theta$

$$\frac{|S_1P - S_2P|}{d} = \sin \theta$$

$$|S_1P - S_2P| = d \sin \theta$$
 ← 2

$$\textcircled{1} = \textcircled{2} \quad |S_1P - S_2P| = d\left(\frac{x}{l}\right)$$

รวมสูตรการแทรกสอดบนแนวปฏิบัติ

ความต่างระยะ S_1P_n กับ S_2P_n บนแนวเสริมที่ A_n

$$|S_1P - S_2P| = n\lambda$$

ระยะ x จากแนว A_0 ถึงจุด P บนแนวเสริมที่ A_n

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

มุมระหว่างจุด P บนแนวเสริมกับแนว A_0

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

รวมสูตรการแทรกสอดบนแนวหัก

ความต่างระยะ S_1P_n กับ S_2P_n บนแนวหักล้างที่ N_n

$$|S_1P - S_2P| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

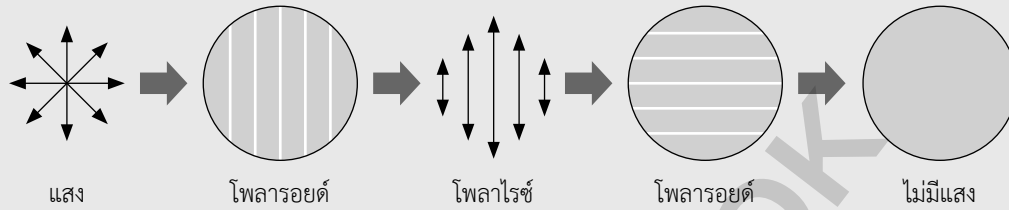
ระยะ x จากแนว A_0 ถึงจุด P บนแนวหักล้างที่ N_n

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

มุมระหว่างจุด P บนแนวหักล้างกับแนว A_0

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

***ข้อสังเกต :** หากแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นมีแกนโพลาไรซ์ทำมุมกัน 90° จะไม่มีแสงผ่านออกมาดังรูป



ความสว่างของแสง

ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux) สัญลักษณ์ F หน่วย Lumen (lm) เป็นปริมาณเส้นแรงของแสงในหนึ่งหน่วยเวลา เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์กำลัง 40 วัตต์ มีฟลักซ์ส่องสว่าง 2,700 ลูเมน หรือมีความเข้มของการส่องสว่าง 2,700 แคนเดลา (cd) ความสว่างวัดได้จากปริมาณฟลักซ์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร

$$\text{ความสว่าง (E)} = \frac{F}{A} \text{ ลูเมน/เมตร}^2 \text{ หรือ ลักซ์ (lux)}$$

ตัวอย่าง ช่วงเช้าใช้ไฟฟ้า 1,000 วัตต์ จำนวน 2 ชั่วโมง กลางวันใช้ 2,000 วัตต์ จำนวน 2 ชั่วโมง และช่วงเย็นใช้ 3,000 วัตต์ จำนวน 2 ชั่วโมง ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมสามช่วงเท่ากับกี่หน่วย

วิธีทำ

$$W/\text{Unit} = \left(\frac{P}{1,000} \right) t$$

$$\text{เช้า } 1,000 \text{ วัตต์ } 2 \text{ ชั่วโมง} = \left(\frac{1,000}{1,000} \right) 2 = (1)2$$

$$\text{กลางวัน } 2,000 \text{ วัตต์ } 2 \text{ ชั่วโมง} = \left(\frac{2,000}{1,000} \right) 2 = (2)2$$

$$\text{เย็น } 3,000 \text{ วัตต์ } 2 \text{ ชั่วโมง} = \left(\frac{3,000}{1,000} \right) 2 = (3)2$$

$$\text{รวมสามช่วง} = (1 + 2 + 3)2$$

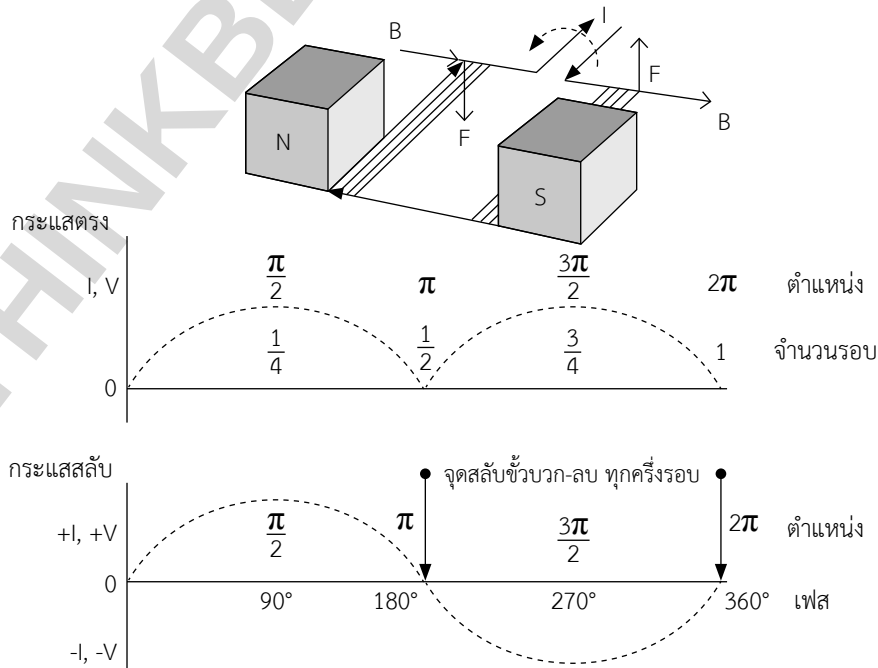
ดังนั้น ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม 12 หน่วย

ตอบ

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)

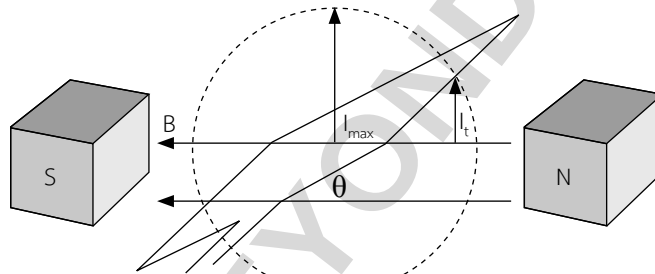
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Dynamo) ประกอบด้วยขดลวดทองแดงหมุนระหว่างขั้วเหนือและใต้ของแท่งแม่เหล็ก โดยอาศัยแรงหมุนจากเครื่องยนต์ ไอน้ำ กังหันลม หรือกังหันน้ำ แรงจากแม่เหล็กสามารถทำให้อิเล็กตรอนในขดลวดที่กำลังหมุนหลุดจากอะตอม แล้วเคลื่อนที่เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าในเส้นลวด

มอเตอร์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบเหมือนไดนาโม ต่างกันที่ไดนาโมใช้แรงหมุนเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า ในทางกลับกันมอเตอร์ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นแรงหมุน





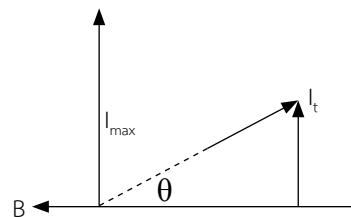
ณ ตำแหน่ง 0 ของกราฟกระแสตรงไม่เกิดกระแสและความต่างศักย์ เนื่องจากขดลวดด้านซ้ายและขวา หมุนมาอยู่ในแนวระนาบตั้ง ตั้งฉากเส้นแรงสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่ระนาบระดับ แรงแม่เหล็กกระทำต่อขดลวดบน และล่างเท่ากัน เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กผลักขดลวดให้หมุนไป $\frac{1}{4}$ รอบ (ตำแหน่ง $\frac{\pi}{2}$) ขดลวดจะอยู่ระนาบระดับ ขนานสนามแม่เหล็ก แรงผลักขดลวด F ทางซ้ายมีทิศลงดังรูป ส่วนแรงผลักขดลวดทางด้านขวาจะมีทิศขึ้น เกิดความต่างของแรงผลักขึ้นกับผลักลงมากที่สุด ทำให้กระแสสูงสุด ($I_{\max}$) และความต่างศักย์สูงสุด ($V_{\max}$) ที่ ตำแหน่ง $\frac{\pi}{2}$ ดังกราฟ เมื่อหมุนต่อไปครบครึ่งรอบ (π) ขดลวดจะกลับมาอยู่แนวตั้ง กระแสต่ำสุด ($I_{\min}$) และความต่างศักย์ต่ำสุด ($V_{\min}$) ณ ตำแหน่งนี้หากใช้แปรงเพื่อสลับขั้วที่ปลายขดลวด จะทำให้กระแสสลับทิศไหล กลับดังกราฟกระแสสลับ ทุกการหมุนครึ่งรอบ (π) จะมีการสลับขั้ว 1 ครั้ง ในหนึ่งรอบ (2π) จะมีการสลับทิศไหล ไปและกลับ ความถี่ของการหมุนขดลวดอยู่ที่ 50 รอบ/วินาที หรือ 50 เฮิร์ตซ์ เมื่อหมุนไปได้ครึ่งรอบ (π) หรือ ระยะทางเชิงมุม $\theta = 90^\circ$ ค่ากระแสจะเพิ่มขึ้นสูงสุด ($I_{\max}$) ขนาดของกระแสที่กำลังเพิ่มขึ้นในช่วงการหมุนไม่ถึง ครึ่งรอบ (ช่วง $0^\circ - 90^\circ$) หาได้จากกระแส ณ ตำแหน่ง θ ใดๆ ของขดลวด



$$\frac{\text{กระแสตรงข้ามมุม}}{\text{กระแสตรงข้ามฉาก}} = \sin \theta$$

$$\frac{I_t}{I_{\max}} = \sin \theta$$

$$I_t = I_{\max} \sin \theta$$



ระยะทางเชิงมุม θ สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอัตราเร็วเชิงมุม ω

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

$$\omega t = \theta$$

กระแส ณ เวลาใดๆ

$$I_t = I_{\max} \sin \omega t$$

ศักย์ไฟฟ้า ณ เวลาใดๆ

$$V_t = V_{\max} \sin \omega t$$

อัตราเร็วของการหมุน (รอบ/วินาที)

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

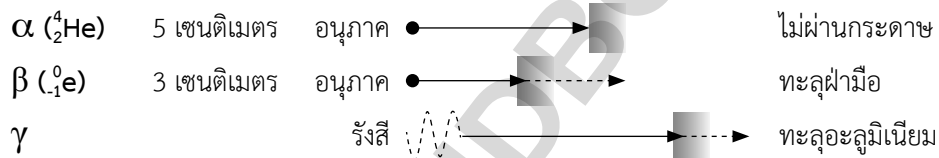
$$= 2\pi \left(\frac{1}{T} \right)$$

$f = \frac{1}{T}$ อัตราเร็วของการหมุน

$$\omega = 2\pi f$$

การสลายตัวเองตามธรรมชาติของธาตุ หรือการยิงนิวตรอนใส่นิวเคลียสของธาตุ จะทำให้จำนวนอนุภาคภายในนิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลง (ปฏิกิริยานิวเคลียร์) นิวเคลียสจะปลดปล่อยรังสี (Radiation) ออกมา 3 ชนิด ได้แก่

- **อนุภาคอัลฟา α** เป็นนิวเคลียสของฮีเลียม ประจุ +2 มวล 4 อำนาจทะลุทะลวงต่ำไม่สามารถทะลุผ่านกระดาษได้ รัศมีในอากาศ 5 เซนติเมตร จากจุดกำเนิด
- **อนุภาคเบต้า β** เป็นอิเล็กตรอนประจุ -1 หรือโพสิตรอนประจุ +1 มีมวลแต่น้อยมากจึงไม่นับมวล อำนาจทะลุทะลวงปานกลางสามารถผ่านฝ่ามือที่กั้นได้ รัศมีในอากาศ 3 เซนติเมตร จากจุดกำเนิด
- **รังสีแกมมา γ** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีประจุ ไม่มีมวล ความถี่สูงจึงมีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถผ่านแผ่นอะลูมิเนียมบางหรือคอนกรีตหนาได้



การสลายตัวอาจมีการปลดปล่อยรังสีชนิดเดียว 2 ชนิด หรือพร้อมกันทีเดียว 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของธาตุนั้น รังสีทั้งสามชนิดสามารถทำให้อนุภาคที่ถูกชนแตกตัวเป็นไอออนอิสระ ซึ่งเรียกว่า รังสีปรมาณู (Atomic Radiation) ส่วนนิวตรอนเป็นรังสีที่มนุษย์สร้างจากเครื่องเร่งอนุภาค เพื่อใช้กับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ อำนาจทะลุทะลวงสูงมาก สามารถผ่านแผ่นตะกั่วหนาซึ่งมีความหนาแน่นสูง

กัมมันตภาพ (Activity)

หมายถึง อัตราการสลายตัวใน 1 วินาที ซึ่งขึ้นกับสองปัจจัย ได้แก่ ความน่าจะเป็นการสลายตัว (λ) และจำนวนนิวเคลียส (N) ที่มีอยู่ในขณะนั้น

อัตราการสลายตัว $A = \lambda N$... (λ = ความน่าจะเป็น)

หน่วยวัดอัตราการสลายตัว

เบ็กเคอเรล (Bq) = 1 อนุภาคต่อวินาที หรือ Bq

คูรี (Ci) = 3.7×10^{10} อนุภาคต่อวินาที หรือ Bq

หน่วยวัดอัตราการดูดซับรังสีต่อวัตถุ 1 กรัม

100 เรม = 1 ซีเวิร์ต หรือ แรด (Rad)

100 ซีเวิร์ต = 1 เกรย์ ... (หน่วย S.I.)

หน่วยวัดอัตราการแตกตัวของไอออนเมื่อรังสี x หรือ γ เข้าชน

เรินต์เกน



8. ตอบข้อ 4 วิธีทำ หาระยะจาก $\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$

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

$$5 \times 10 = \text{ระยะทาง}$$

ดังนั้น ระยะระหว่างขอบสระห่างกัน 50 เมตร

9. ตอบข้อ 3 วิธีทำ หาเวลาจาก $\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$

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

$$= \frac{160}{80} = 2 \text{ ชั่วโมง}$$

ดังนั้น ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ถึงปลายทาง 10.00 น. จะต้องออกจากต้นทางเวลา 08.00 น.

10. ตอบข้อ 2 วิธีทำ หาเวลาจาก $\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$

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

$$\text{เวลาของชาย} = \frac{300}{6}$$

$$= 50 \text{ วินาที}$$

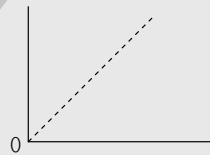
$$\text{เวลาของหญิง} = \frac{300}{5}$$

$$= 60 \text{ วินาที}$$

ดังนั้น ชายเข้าเส้นชัยก่อนหญิง $60 - 50 = 10$ วินาที

11. ตอบข้อ 1 เพราะ ความเร่ง หมายถึง การเพิ่มความเร็ว หากเพิ่มความเร็วมากกราฟจะชันมาก กรณีให้ความเร็วเพิ่มสม่ำเสมอหรือความเร่งคงที่กราฟจะเป็นเส้นตรง โดยมีความชันคงที่เป็นบวก

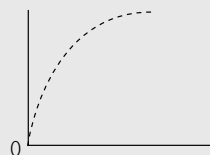
- ตัวเลือกข้อ 1 ความเร็วเพิ่มสม่ำเสมอ ความเร่งคงตัว



- ตัวเลือกข้อ 2 ความเร็วคงตัว ไม่มีความเร่ง



- ตัวเลือกข้อ 3 ความเร็วเพิ่มไม่สม่ำเสมอ ความเร่งไม่คงตัว



- ตัวเลือกข้อ 4 ไม่มีความเร็ว ไม่มีความเร่ง

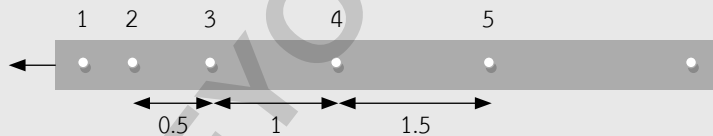


12. ตอบข้อ 3 เพราะ การกระจัดลอยหลังมีทิศลบ ความเร็วมีทิศเดียวกับการกระจัดคือทิศลบ ความเร่งลดลยอนทิศ ความเร็วและการกระจัดซึ่งมีทิศลบ ความเร่งจึงมีทิศบวก กรณีเร่งขณะถอยความเร่งจะมีทิศเดียวกับ ความเร็ว
13. ตอบข้อ 2 เพราะ ความถี่เครื่องเคาะสัญญาณคงตัว หากแถบกระดาษวิ่งผ่านด้วยอัตราเร็วคงตัวจุดจะห่างเท่ากัน ทุกจุด จากรูปช่วงแรกกระดาษเคลื่อนที่ช้าจุดจะอยู่ใกล้กัน เมื่อเคลื่อนที่เร็วขึ้นจุดอยู่ห่างกันมากขึ้น ลักษณะคล้ายการก้าวเท้ายาวก็จะวิ่งได้เร็วขึ้น



14. ตอบข้อ 1 วิธีทำ พิจารณา

$$\text{หาอัตราเร็วเฉลี่ยจาก} = \frac{\text{ระยะทางทั้งหมด}}{\text{เวลาทั้งหมด}} \quad \text{①}$$



เคาะสัญญาณ 50 จุด ใช้เวลา = 1 วินาที

$$\text{" 1 " } = \frac{1}{50} \text{ วินาที}$$

$$1 \text{ ช่วง} = \frac{1}{50} \text{ วินาที} \quad 3 \text{ ช่วง} = \frac{3}{50} \text{ วินาที}$$

$$\text{แทนใน ①} = \frac{0.5 + 1 + 1.5}{\frac{3}{50}} \text{ เซนติเมตร/วินาที}$$

$$= \frac{3}{\frac{3}{50}}$$

$$= \frac{3}{1} \times \frac{50}{3} = 50 \text{ เซนติเมตร/วินาที}$$

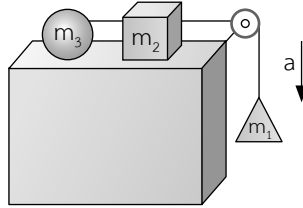
ตัวเลือกตอบเป็นเมตร หน่วยที่โจทย์ให้เป็นเซนติเมตร

$$= \frac{50}{100} \text{ เมตร/วินาที}$$

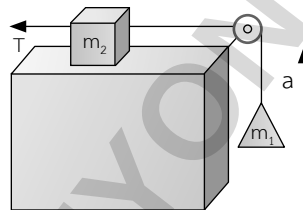
ดังนั้น ความเร็วช่วง 2 ถึง 5 เท่ากับ 0.5 เมตร/วินาที



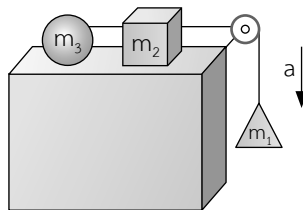
6. จงหาแรงลัพธ์ที่ทำให้มวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง (กำหนดให้ ระหว่างมวลกับพื้นและรอกกับเชือก ไม่มีแรงเสียดทาน เชือกเบาไม่คิดมวลเชือก)



1. m_1g
 2. $(m_1 - m_2 - m_3)g$
 3. $(m_1 + m_2 + m_3)g$
 4. $(m_1 - m_2 + m_3)g$
 5. $\left(\frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_1 + m_2 + m_3}\right)g$
7. จงหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวล m_2 ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และแรงตึงเชือก T ขณะกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว (ไม่คิดมวลเชือก พื้น และรอกไม่มีแรงเสียดทาน)



1. แรงลัพธ์ $T - m_1g$ แรงตึงเชือก m_1g
 2. แรงลัพธ์ $T - (m_1 + m_2)g$ แรงตึงเชือก $(m_1 + m_2)g$
 3. แรงลัพธ์ $T - (m_1 + m_2)g$ แรงตึงเชือก $(m_1 - m_2)g$
 4. แรงลัพธ์ $T + (m_1 + m_2)g$ แรงตึงเชือก $(m_1 + m_2)g$
 5. แรงลัพธ์ $T + (m_1 + m_2)g$ แรงตึงเชือก $(m_1 - m_2)g$
8. จงหาแรงลัพธ์ที่ทำให้มวล m_3 และ m_2 เคลื่อนที่ด้วยความเร่งบนพื้นที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากันเท่ากับ 1 (ไม่คิดมวลเชือกและแรงเสียดทานรอก)



1. $(m_2 + m_3 - m_1)g$
2. $(m_1 - m_2 - m_3)g$
3. $\left(\frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3}\right)g$
4. $\left(\frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_1 + m_2 + m_3}\right)g$
5. $\left(\frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_1 - m_2 - m_3}\right)g$

48. ตอบข้อ 2 วิธีทำ หาความถี่จากคาบเวลาที่ประจุเคลื่อนที่ด้วยแรงสู่ศูนย์กลาง F_c

$$\begin{aligned}
 F_b &= F_c \\
 qvB &= \frac{mv^2}{R} \\
 R &= \frac{mv}{qB} \\
 \text{จะได้ } v &= \frac{s}{t} = \frac{2\pi R}{T} \\
 R &= \frac{m(2\pi R)}{qB} \\
 R &= \frac{2\pi Rm}{T} \times \frac{1}{qB} \\
 T &= \frac{2\pi m}{qB} \\
 \text{นั่นคือ } T &= \frac{1}{f} \\
 \text{ดังนั้น} \quad f &= \frac{qB}{2\pi m}
 \end{aligned}$$

49. ตอบข้อ 4 วิธีทำ หาพลังงานอิเล็กตรอนระดับพลังงาน E_2 วงโคจรที่ 2 จากพลังงานระดับที่ n

$$\begin{aligned}
 E_n &= -\frac{E_1}{n^2} \\
 E_2 &= -\frac{E_1}{(2)^2} \\
 \text{ดังนั้น} \quad E_2 &= -\frac{E_1}{4}
 \end{aligned}$$

50. ตอบข้อ 5 วิธีทำ รวมเลขมวลฝั่งขวาให้เท่ากับเลขมวลฝั่งซ้ายของปฏิกิริยา จากนั้นรวมเลขอะตอมฝั่งขวาให้เท่ากับเลขอะตอมฝั่งซ้ายของปฏิกิริยา

$${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^A\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n} + E$$

หาเลขมวล A ฝั่งขวา = ฝั่งซ้าย

$$141 + A + 1(3) = 235 + 1$$

$$A = 236 - 144$$

จะได้ A = 92

หาเลขอะตอม Z ฝั่งขวา = ฝั่งซ้าย

$$Z + 36 + 0 = 92 + 0$$

$$Z = 92 - 36$$

ดังนั้น Z = 56