SIRINOVA
EDUCATION STUDIO

PRACTICE EXAM

A-LEVEL PHYSICS

เฉลยละเอียด • ชุดที่ 2



SIRINOVA EDUCATION STUDIO

เฉลยละเอียด A-Level ฟิสิกส์

ชุดที่ 2 / ฉบับแจกฟรี 25 ข้อ

เลือกเลขข้อในตารางเพื่อเปิดวิธีทำได้เลย แต่ละข้อเริ่มจากสรุปโจทย์ ตามด้วยแถบภาพพาคิดสามช่วง ไล่จากสิ่งที่สังเกตในโจทย์ไปถึงสมการ แล้วจึงอ่านเหตุผลและวิธีทำทีละบรรทัด รูปประกอบในเฉลยเน้นแสดงทิศทางหรือความสัมพันธ์ และอาจวาดไม่ตามมาตราส่วน

1 ง	2 ข	3 ง	4 ง	5 ข
6 ก	7 ก	8 ค	9 ง	10 ก
11 ก	12 ข	13 ค	14 ข	15 ง
16 ข	17 ค	18 ค	19 ค	20 ก
21 ง	22 ก	23 ข	24 ง	25 ค

วิธีใช้เฉลย

ลองทำโจทย์จากข้อสอบต้นฉบับก่อน แล้วอ่านทีละขั้น ถ้าคำตอบไม่ตรงกัน ให้ย้อนดูว่าต่างกันตั้งแต่การเลือกหลักฟิสิกส์ การตั้งแกน หรือการแทนค่า

เปิดข้อสอบต้นฉบับชุดที่ 2 บน Google Drive

ข้อ 1

ค่อย ๆ เพิ่มกระแสแล้วร้อนน้อยลง

กระแสปฐมภูมิเพิ่มจาก 0 ถึง I_0 แบบเส้นตรง ใช้เวลา T กับ $3T$ ในการทดลองสองครั้ง

เพิ่มกระแสเท่าเดิม	→	ยืดเวลาให้ชันน้อยลง	→	เทียบผลของกระแส
$\Delta I_p = I_0$		$\lvert\mathcal{E}\rvert = MI_0/\Delta t$		$q = I\Delta t,\ Q = I^2R\Delta t$

เริ่มคิดจากตรงไหน

กระแสปฐมภูมิสร้างสนามที่ทะลุขดทุติยภูมิ เมื่อกระแสปฐมภูมิเพิ่มเท่าเดิมแต่ใช้เวลานานขึ้น ฟลักซ์ที่เปลี่ยนทั้งหมดเท่าเดิม แต่ความชันเล็กลง กฎฟาราเดย์จึงให้แรงดันเหนี่ยวนำที่อ่อนกว่าและอยู่นานกว่า คิดประจุจากผลรวมกระแสตามเวลา แต่ความร้อนคิดจากผลรวมกระแสกำลังสองตามเวลา

1. ใช้ความชันของกระแสปฐมภูมิ

ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือ $M\Delta I_p/\Delta t$ จึงคงที่ในช่วงที่กระแสปฐมภูมิเพิ่มแบบเส้นตรง

$$I_s = \frac{MI_0}{R\Delta t}.$$

2. ประจุคิดจากกระแสคูณเวลา

กระแสเล็กลงสามเท่า แต่ไหลนานขึ้นสามเท่า ผลคูณจึงเท่าเดิม

$$q = I_s\Delta t = \frac{MI_0}{R}.$$

3. ความร้อนคิดจากกำลังคูณเวลา

กำลังขึ้นกับกระแสกำลังสอง เวลาเพิ่มสามเท่าจึงชดเชยได้เพียงหนึ่งตัวคูณ

$$Q = I_s^2R\Delta t = \frac{M^2I_0^2}{R\Delta t} \quad\Longrightarrow\quad Q_2/Q_1 = 1/3.$$

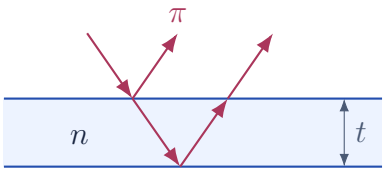
ตอบ ง. ประจุเท่าเดิม ความร้อนเหลือ $1/3$

ข้อ 2

ฟิล์มบางกับการกลับเฟส

แสงตกตั้งฉากกับฟิล์มดัชนี $n > 1$ ผิวบนกลับเฟส π ผิวล่างไม่กลับเฟส

คลื่นสะท้อนผิวบน	→	ผิวล่างเดินไปกลับ	→	ให้เฟสกลับมาตรงกัน
$\Delta\phi_{\text{reflection}} = \pi$		$\Delta s = 2t$		$2t = \lambda_0/(2n)$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ตามรูปให้เปรียบเทียบคลื่นสะท้อนจากผิวบนกับผิวล่าง ผิวบนทำให้ยอดกลับเป็นท้อง แต่ผิวล่างไม่กลับ ถ้าอยากให้ทั้งสองกลับมาเป็นยอดพร้อมกัน ต้องให้คลื่นจากผิวล่างเสียเวลาเดินทางเพิ่มอีกครึ่งรอบเป็นอย่างน้อย คลื่นนี้เดินลงและขึ้นในฟิล์ม ระยะที่เพิ่มจึงเป็นสองเท่าของความหนา

1. แยกผลของการสะท้อนออกจากทางเดิน

รังสีจากผิวล่างเดินไปกลับในฟิล์มเพิ่ม $2t$ แต่เฟสจากการสะท้อนต่างกันครึ่งรอบอยู่แล้ว รูปแยกเส้นให้เห็น แม้โจทย์จะให้ตกตั้งฉาก

2. ให้ทางเดินเพิ่มชดเชยครึ่งรอบ

ความยาวคลื่นในฟิล์มคือ λ_0/n ถ้าต้องการความหนาบวกน้อยที่สุด ให้ทางเดินเพิ่มครึ่งหนึ่งของค่านี้

$$2t = \frac{1}{2}\frac{\lambda_0}{n} \quad \Longrightarrow \quad t = \frac{\lambda_0}{4n}.$$

ตอบ ข. $t_{\text{min}} = \lambda_0/(4n)$

จุดที่ควรระวัง ความหนา t ถูกเดินผ่านสองครั้ง และเงื่อนไขนี้ใช้กับแสงสะท้อนที่กลับเฟสเพียงผิวเดียว

ข้อ 3

แผ่นกลางช่วยให้แสงผ่าน

แสงไม่โพลาไรซ์ผ่านโพลาไรเซอร์ที่แกน $0°, 45°, 90°$ ตามลำดับ

แกนแผ่นแรก		หมุนแนวแสงครั้งแรก		หมุนอีกครั้ง
$0°$	$\rightarrow$	$0° \rightarrow 45°$	$\rightarrow$	$45° \rightarrow 90°$



เริ่มคิดจากตรงไหน

แกนของแผ่นกรองกำหนดว่าจะยอมให้สนามไฟฟ้าสั่นไปทางไหน ถ้าสนามไฟฟ้าเดิมทำมุม θ กับแกน จะเหลือองค์ประกอบตามแกน $E\cos\theta$ ความเข้มขึ้นกับแอมพลิจูดกำลังสอง จึงได้ $I' = I\cos^2\theta$ แต่ก่อนถึงแผ่นแรก แสงสั่นได้ทุกแนว จึงใช้ค่าเฉลี่ยของ $\cos^2\theta$ ซึ่งเท่ากับ $1/2$

1. แผ่นแรกตัดความเข้มครึ่งหนึ่ง

แสงตกกระทบยังไม่โพลาไรซ์ จึงได้ $I_1 = I_0/2$ หลังแผ่นแรกและมีแนวโพลาไรซ์ $0°$

2. ใช้กฎของมาลุสทีละแผ่น

ใช้มุมระหว่างแนวแสงที่เพิ่งออกจากแผ่นก่อนหน้ากับแกนของแผ่นถัดไป ทั้งสองครั้งต่างกัน $45°$

$$I_2 = I_1\cos^2 45° = I_0/4,$$
$$I_3 = I_2\cos^2 45° = I_0/8.$$

ตอบ ง. $I_0/8$

จุดที่ควรระวัง แสงที่เข้าแผ่นสุดท้ายโพลาไรซ์ที่ $45°$ แล้ว จึงใช้มุม $45°$ กับแผ่นสุดท้าย

ข้อ 4

รัศมีท่อมีผลกำลังสี่

เพิ่มรัศมีเป็น $2r$ ความยาวเป็น $4L$ ความหนืดเป็น 2η ที่ผลต่างความดันเดิม

รัศมีเพิ่ม		ท่อยาวขึ้น		หนืดขึ้น
$(2r/r)^4$	$\rightarrow$	$L/(4L)$	$\rightarrow$	$\eta/(2\eta)$

เริ่มคิดจากตรงไหน

โจทย์ให้กฎการไหลมาแล้ว ลองมองว่าผลต่างความดันเป็นแรงขับ ส่วนท่อยาวและของเหลวหนืดทำให้ไหลยากขึ้น รัศมีมีผลแรงกว่า เพราะท่อกว้างขึ้นทั้งเพิ่มพื้นที่และเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของของเหลว เราจะใช้สูตรที่โจทย์ให้แยกผลของแต่ละปัจจัยด้วยการหารค่าใหม่ด้วยค่าเดิม

1. เขียนปัจจัยที่เปลี่ยน

จาก $Q = \pi r^4 \Delta P/(8\eta L)$ ปัจจัย $\pi, \Delta P, 8$ ตัดกันเมื่อหารค่าใหม่ด้วยค่าเดิม

$$\begin{aligned}\frac{Q_2}{Q_1} &= \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^4 \frac{\eta_1}{\eta_2}\frac{L_1}{L_2} \\ &= 2^4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{16}{8} = 2.\end{aligned}$$

ตอบ ง. อัตราการไหลเป็น 2 เท่า

จุดที่ควรระวัง กฎที่ให้ใช้รัศมี r ยกกำลังสี่ การคิดแค่พื้นที่หน้าตัดจะได้ตัวคูณผิด

ข้อ 5

โฟโตอิเล็กตรอนถูกเร่งต่อ

โฟตอน 5.0 eV กระทบโลหะที่มีฟังก์ชันงาน 2.0 eV แล้วอิเล็กตรอนถูกเร่งด้วย 4.0 V

โฟตอนให้พลังงาน	→	หักพลังงานดึงออก	→	สนามให้พลังงานเพิ่ม
$E_\gamma = 5.0\,\text{eV}$		$K_1 = E_\gamma - \phi$		$K_2 = K_1 + e\Delta V$



เริ่มคิดจากตรงไหน

แยกเส้นทางของอิเล็กตรอนเป็นสองช่วง ตอนอยู่ในโลหะ พลังงานของโฟตอนส่วนหนึ่งใช้พาอิเล็กตรอนออกจากผิว ส่วนที่เหลือคือพลังงานจลน์ พอหลุดแล้ว สนามไฟฟ้าทำงานเพิ่มให้มันอีกครั้ง สำหรับประจุขนาด e ที่เคลื่อนผ่านความต่างศักย์ 1 โวลต์ในทิศเร่ง พลังงานจะเพิ่ม 1 อิเล็กตรอนโวลต์

1. คิดพลังงานตอนหลุดจากโลหะ

จ่ายพลังงานสำหรับดึงอิเล็กตรอนออกก่อน ที่เหลือเป็นพลังงานจลน์สูงสุด

$$K_{\text{initial,max}} = 5.0 - 2.0 = 3.0\,\text{eV}.$$

2. บวกพลังงานที่ได้จากสนามไฟฟ้า

อิเล็กตรอนมีขนาดประจุ e เมื่อถูกเร่งผ่าน 4.0 V จึงได้พลังงานเพิ่ม 4.0 eV

$$K_{\text{final,max}} = 3.0 + 4.0 = 7.0\,\text{eV}.$$

ตอบ ข. $7.0\,\text{eV}$

จุดที่ควรระวัง โจทย์บอกว่าถูกเร่ง พลังงานจลน์จึงเพิ่ม ถ้าใช้แรงดันต้านจึงค่อยลบ

ข้อ 6

ชนติดแล้วสปริงอัดลึกแค่ไหน

มวล m หล่นจาก $h = 3mg/k$ ชนติดมวล m ที่อยู่สมดุลบนสปริงแนวดิ่ง

ก่อนชนตกจากสูง	→	ชนติด	→	หาอัดสุดจากสมดุลใหม่
$mgh \to \frac{1}{2}mu^2$		$mu = 2mv$		$x_{\max} = x_{\text{eq}} + A$

เริ่มคิดจากตรงไหน

ก่อนชน พลังงานโน้มถ่วงของก้อนที่ตกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ตอนชนติดต้องเปลี่ยนไปใช้โมเมนตัม เพราะพลังงานจลน์สูญเสียได้ระหว่างชน หลังชนแล้วทั้งคู่เคลื่อนด้วยกันและน้ำหนักรวมเป็นสองเท่า จึงต้องหาสมดุลสปริงใหม่ก่อนคิดการสั่น รอบสมดุลใหม่นี้แรงน้ำหนักคงที่ถูกหักด้วยแรงสปริงส่วนที่มีอยู่ที่สมดุล เหลือแรงดึงกลับ $-ky$

1. หาความเร็วก่อนและหลังชน

ให้ลงเป็นบวก ก่อนชนมวลที่ตกได้ $u^2 = 2gh = 6mg^2/k$ ระหว่างชนละเลยแรงดลภายนอกจึงใช้โมเมนตัม

$$\begin{aligned} mgh &= \tfrac{1}{2}mu^2, \\ mu = (m+m)v \quad &\Longrightarrow \quad v^2 = u^2/4 = 3mg^2/(2k). \end{aligned}$$

2. เปลี่ยนไปวัดจากสมดุลใหม่

ให้ $a = mg/k$ จุดชนอยู่ที่ $x = a$ สมดุลใหม่ของสองมวลอยู่ที่ $x = 2a$ จึงเริ่มที่ $y = x - 2a = -a$ และกำลังเคลื่อนลง



3. หลังชนใช้พลังงานของการสั่น

แรงสุทธิรอบสมดุลใหม่คือ $-ky$ และ $\omega^2 = k/(2m)$ แอมพลิจูด A หาได้จาก

$$\begin{aligned} \tfrac{1}{2}(2m)v^2 + \tfrac{1}{2}k(-a)^2 &= \tfrac{1}{2}kA^2, \\ A^2 = a^2 + \frac{v^2}{\omega^2} &= a^2 + 3a^2 = 4a^2. \end{aligned}$$

จุดอัดมากสุดจึงอยู่ที่ $x = 2a + A = 4a$

ตอบ ก. $x_{\max} = 4mg/k$ จากความยาวธรรมชาติ

จุดที่ควรระวัง การชนติดทำให้พลังงานจลน์หายไประหว่างชน จึงใช้โมเมนตัมตอนชน แล้วค่อยใช้พลังงานหลังชน

ข้อ 7

รวมพลังงาน ไม่บวกความยาวคลื่น

การเปลี่ยน $3 \to 2$ ให้แสง 600 nm และ $2 \to 1$ ให้ 400 nm

ลงหนึ่งขั้น	→	ลงอีกขั้น	→	ลงตรงได้ผลรวม
$E_3 - E_2$		$E_2 - E_1$		$E_3 - E_1$



เริ่มคิดจากตรงไหน

มองระดับพลังงานเป็นขั้นบันได การลงจากขั้น 3 ไปขั้น 1 โดยตรงเสียพลังงานเท่ากับลงผ่านขั้น 2 สองครั้งรวมกัน สิ่งที่บวกกันได้จึงเป็นพลังงานโฟตอน พอใช้ $E = hc/\lambda$ จะเห็นทันทีว่าปริมาณที่ต้องบวกคือส่วนกลับของความยาวคลื่น

1. รวมผลต่างระดับพลังงาน

$E_3 - E_1 = (E_3 - E_2) + (E_2 - E_1)$ โฟตอนหนึ่งตัวที่ปล่อยจากการลงตรงจึงมีพลังงานเท่ากับผลรวมของสองตัวจากเส้นทางอ้อม

2. ใช้ $E = hc/\lambda$ แล้วตัด hc

คำนวณโดยใช้ความยาวคลื่นทุกตัวในหน่วยเดียวกัน

$$\frac{1}{\lambda_{31}} = \frac{1}{600} + \frac{1}{400} = \frac{2+3}{1200} = \frac{1}{240}\ \text{nm}^{-1},$$
$$\lambda_{31} = 240\,\text{nm}.$$

ตอบ ก. $240\,\text{nm}$

จุดที่ควรระวัง พลังงานรวมสูงกว่าพลังงานแต่ละขั้น จึงต้องได้ความยาวคลื่นสั้นกว่า 400 nm

ข้อ 8

หักพื้นหลังก่อนนับครึ่งชีวิต

เครื่องอ่าน 180 และ 60 ครั้งต่อนาทีห่างกัน 6 ชั่วโมง มีพื้นหลัง 20 ครั้งต่อนาที

อ่านได้รวมพื้นหลัง	→	ลบพื้นหลังสองครั้ง	→	นับจำนวนครึ่งชีวิต
R_{read}		$R_{\text{sample}} = R_{\text{read}} - 20$		$160 \to 80 \to 40$

เริ่มคิดจากตรงไหน

เครื่องนับเห็นทั้งรังสีจากตัวอย่างและรังสีจากสิ่งรอบ ๆ ค่าที่อ่านได้จึงเป็นผลบวกสองแหล่ง ครึ่งชีวิตพูดถึงการลดลงของตัวอย่างเท่านั้น จึงต้องถอดส่วนพื้นหลังออกจากค่าที่อ่านทุกครั้งก่อนหาอัตราส่วน

---

1. หาอัตรานับของตัวอย่างล้วน

พื้นหลังติดมากับการอ่านทั้งสองครั้ง จึงต้องลบทั้งสองครั้ง

$$A_0 = 180 - 20 = 160, \qquad A_6 = 60 - 20 = 40.$$

---

2. นับจำนวนครั้งที่ลดครึ่ง

$160 \to 80 \to 40$ เท่ากับสองครึ่งชีวิต

$$2t_{1/2} = 6\,\text{h} \quad \Longrightarrow \quad t_{1/2} = 3\,\text{h}.$$

ตอบ ค. 3 ชั่วโมง

จุดที่ควรระวัง ใช้อัตรานับแทนกัมมันตภาพได้เมื่อประสิทธิภาพและตำแหน่งวัดคงที่ตามที่โจทย์ให้

ข้อ 9

กำลังไฟที่เข้าขั้วแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ 10 V มีความต้านทานภายใน $1\,\Omega$ ถูกชาร์จจากแหล่ง 12 V ผ่านตัวต้านทาน $3\,\Omega$

แหล่งจ่ายดันกระแส	→	กำลังที่ขั้วแบตเตอรี่	→	ส่วนที่เก็บจริง
$12-10$		$\mathcal{E}I + I^2 r$		$\mathcal{E}I$

เริ่มคิดจากตรงไหน

แยกขอบเขตให้ชัด ถ้ามองจากขั้วแบตเตอรี่ พลังงานที่ผ่านเข้ามาไปสองทาง คือเก็บเป็นพลังงานเคมีและเสียเป็นความร้อนในความต้านทานภายใน ความร้อนที่ตัวต้านทานภายนอกเกิดก่อนถึงขั้ว จึงมีผลกับขนาดกระแส แต่ไม่รวมในกำลังที่ใช้เป็นตัวหารของประสิทธิภาพข้อนี้

1. หาทิศกระแสและขนาด

กระแสเข้าขั้วบวกของแบตเตอรี่ที่ชาร์จ แหล่งจ่ายต้องเอาชนะแรงเคลื่อนไฟฟ้า 10 V

$$I = \frac{12-10}{3+1} = 0.50\,\text{A}.$$

2. แยกกำลังสะสมจากกำลังที่ขั้ว

กำลังที่เข้าสู่ขั้วรวมกำลังสะสมทางเคมี $\mathcal{E}I$ กับความร้อนภายใน $I^2 r$

$$\begin{aligned} P_{\text{chem}} &= 10(0.50) = 5.00\,\text{W}, \\ P_{\text{terminal}} &= 5.00 + (0.50)^2(1) = 5.25\,\text{W}, \\ \eta &= 5.00/5.25 = 20/21. \end{aligned}$$

ตอบ ง. $20/21$

จุดที่ควรระวัง โจทย์ใช้กำลังที่ขั้วแบตเตอรี่เป็นตัวหาร ความร้อนในตัวต้านทานภายนอกจึงอยู่นอกขอบเขตที่ถาม

ข้อ 10

ระยะห่างและไดอิเล็กทริกเปลี่ยนพร้อมกัน

ถอดตัวเก็บประจุออกจากแหล่งจ่าย เพิ่มระยะห่างเป็นสองเท่าและใส่ไดอิเล็กทริก $\kappa = 3$ เต็มช่อง

ถอดสาย ประจุคงเดิม	→	แผ่นห่างและมีฉนวน	→	เก็บพลังงานที่ประจุเดิม
$Q_2 = Q_1$		$C = \kappa\varepsilon_0 A/d$		$U = Q^2/(2C)$



เริ่มคิดจากตรงไหน

พอถอดแบตเตอรี่ สิ่งที่ล็อกไว้คือปริมาณประจุบนแผ่น แรงดันเปลี่ยนได้ตาม $V = Q/C$ พลังงานสะสมเขียนได้เป็น $\frac{1}{2}QV$ เพราะตอนสะสมประจุ แรงดันไต่จากศูนย์ไปถึง V ดังนั้นการแทน $V = Q/C$ จะได้รูปพลังงานที่เหมาะกับเงื่อนไขประจุคงที่

1. ดูว่าประจุไปไหนได้บ้าง

ถอดสายแล้วไม่มีทางให้ประจุไหลออก และโจทย์ให้ไม่รั่ว ดังนั้น Q คงที่

2. รวมผลต่อความจุ

ความจุแปรตาม κ/d เมื่อขนาดแผ่นเท่าเดิม

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{3}{2}.$$

3. เลือกสูตรพลังงานที่แสดง Q

จาก $U = Q^2/(2C)$ เมื่อ Q เท่าเดิม พลังงานจึงแปรผกผันกับความจุ

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{2}{3}.$$

ตอบ ก. พลังงานเหลือ $2/3$

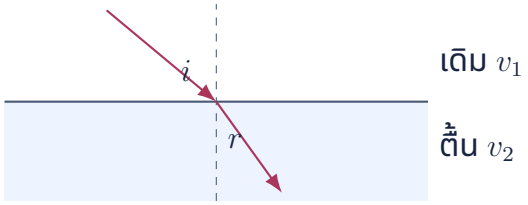
จุดที่ควรระวัง ถ้ายังต่อแหล่งจ่าย แรงดันจึงจะคงที่ ข้อนี้ให้ถอดออกก่อนเปลี่ยนรูปทรง

ข้อ 11

คลื่นน้ำหักเหเข้าหาเส้นปกติ

อัตราเร็วในบริเวณตื้นเป็น $3/4$ ของเดิม มุมตกกระทบมี $\sin i = 2/3$

หน้าคลื่นถึงรอยต่อ $f_1 = f_2$ → **แนวรอยต่อคั่นยอดเท่ากัน** $\lambda_1/\sin i = \lambda_2/\sin r$ → **ใช้ความเร็วแปลงความยาวคลื่น** $\lambda_2/\lambda_1 = v_2/v_1$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ลองมองหน้าคลื่นที่เอียงแตะรอยต่อ ส่วนที่เข้าบริเวณตื้นก่อนจะเดินช้าลง ในเวลาเท่ากัน สองส่วนของหน้าคลื่นจึงเดินได้ระยะต่างกัน ทำให้หน้าคลื่นหมุน ที่แนวรอยต่อ ยอดคลื่นต้องต่อเนื่องกัน ความยาวช่วงบนรอยต่อที่คั่นยอดติดกันจึงเท่ากันทั้งสองด้าน หรือ $\lambda_1/\sin i = \lambda_2/\sin r$

1. ใช้ความสัมพันธ์การหักเหของคลื่น

มุมทั้งสองวัดกับเส้นปกติ จึงได้

$$\sin r = \sin i \frac{v_2}{v_1} = \frac{2}{3}\cdot\frac{3}{4} = \frac{1}{2}.$$

2. ใช้ความถี่จากแหล่งเดิม

ที่รอยต่อ f คงเดิม จาก $v = f\lambda$ อัตราส่วนความยาวคลื่นจึงเท่ากับอัตราส่วนความเร็ว $3/4$

ตอบ ก. $\sin r = 1/2$ **และ** $\lambda_2/\lambda_1 = 3/4$

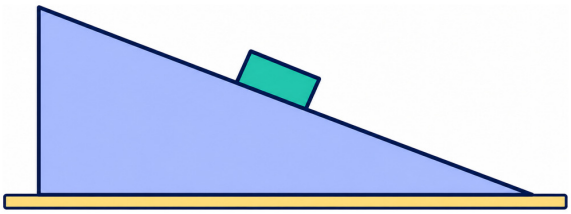
จุดที่ควรระวัง เมื่อความเร็วลดลง มุมจากเส้นปกติต้องเล็กลงด้วย ใช้เช็กว่าไม่ได้กลับเศษส่วน

ข้อ 12

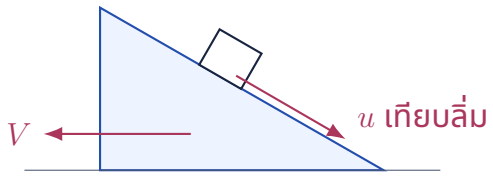
ก้อนเลื่อนลง ลิ่มเลื่อนไปอีกทาง

ก้อน $2m$ ไถลลงขวาบนลิ่ม $3m$ ที่พื้นและผิวลื่น มุม 30° ลดระดับ H

คนบนลิ่มเห็นก้อนไถล	→	คนบนพื้นเห็นลิ่มถอย	→	บวกแล้วคำนวณทั้งระบบ
$\vec{u}$		$\vec{V}_{\text{wedge}}$		$\vec{v}_{\text{block}} = \vec{u} + \vec{V}_{\text{wedge}}$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

ลองมองจากคนยืนบนลิ่มก่อน เขาเห็นก้อนไหลตามแนวเอียง แต่คนบนพื้นยังเห็นลิ่มเคลื่อนไปทางซ้ายด้วย จึงต้องบวกเวกเตอร์สองการเคลื่อนที่เมื่อคำนวณเทียบพื้น ถ้าเลือกก้อนกับลิ่มเป็นระบบเดียว แรงดันระหว่างกันเป็นแรงภายใน และพื้นลื่นไม่ออกแรงแนวราบ จึงใช้โมเมนตัมแกนราบช่วยตัดตัวแปรหนึ่งตัวได้

1. เขียนความเร็วของก้อนเทียบพื้น

ให้ลิ่มเคลื่อนซ้ายด้วยขนาด V และก้อนเลื่อนลงตามผิวด้วยอัตราเร็วสัมพัทธ์ u เขียน $c = \cos 30^\circ$ และ $s = \sin 30^\circ$ จะได้ $\vec{v}_{\text{block}} = (uc - V, -us)$

2. อนุรักษ์โมเมนตัมแนวราบ

ไม่มีแรงภายนอกแนวราบ ผลรวมโมเมนตัมยังเป็นศูนย์

$$2m(uc - V) - 3mV = 0 \quad \Longrightarrow \quad V = \tfrac{2}{5}uc.$$

3. ใช้พลังงานในกรอบพื้น

พลังงานศักย์ที่ลดลงกลายเป็นพลังงานจลน์ของทั้งคู่

$$\begin{aligned} 2mgH &= m[(uc - V)^2 + u^2 s^2] + \tfrac{3}{2}mV^2 \\ &= m(u^2 - 2ucV + \tfrac{5}{2}V^2) = mu^2(1 - \tfrac{2}{5}c^2) = \tfrac{7}{10}mu^2, \\ V^2 &= \tfrac{4}{25}u^2c^2 = \tfrac{12}{35}gH. \end{aligned}$$

ตอบ ข. $V = \sqrt{12gH/35}$

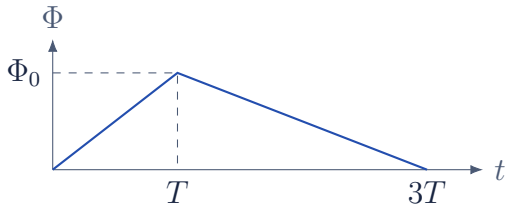
จุดที่ควรระวัง เวลาคิดพลังงานต้องใช้ความเร็วของทั้งคู่ในกรอบเดียวกัน u เป็นความเร็วเทียบลิ่มจึงใช้แทนความเร็วของก้อนเทียบพื้นตรง ๆ ไม่ได้

ข้อ 13

กราฟฟลักซ์สองช่วง

ฟลักซ์เพิ่มจาก 0 ถึง Φ_0 ในเวลา T แล้วลดกลับศูนย์ในอีก $2T$ วงลวดมีความต้านทาน R

อ่านช่วงขึ้น $\Delta\Phi/\Delta t = +\Phi_0/T$ → **อ่านช่วงลง** $\Delta\Phi/\Delta t = -\Phi_0/(2T)$ → **บวกความร้อนทั้งสองช่วง** $Q_1 + Q_2$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ฟาราเดย์บอกว่าแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นกับอัตราที่ฟลักซ์เปลี่ยน จึงอ่านจากความชันของกราฟ ในขาขึ้นและขาลงความชันกลับเครื่องหมาย กระแสจึงกลับทิศ แต่ตัวต้านทานยังร้อนทั้งสองขา เพราะงานไฟฟ้าต่อวินาทีคือ $\mathcal{E}I = I^2R$ ต้องคิดกำลังของแต่ละช่วงแล้วคูณเวลาของช่วงนั้น

1. อ่านขนาดความชันของแต่ละช่วง

จากกฎฟาราเดย์ $|\mathcal{E}| = |\Delta\Phi/\Delta t|$ จึงได้ $|\mathcal{E}_1| = \Phi_0/T$ และ $|\mathcal{E}_2| = \Phi_0/(2T)$

2. แยกคิดความร้อนตามเวลาของแต่ละช่วง

ใช้กำลัง $\mathcal{E}^2/R$ และคูณด้วยช่วงเวลาที่กำลังนั้นคงที่

$$Q_1 = \frac{(\Phi_0/T)^2}{R}T = \frac{\Phi_0^2}{RT},$$
$$Q_2 = \frac{(\Phi_0/(2T))^2}{R}(2T) = \frac{\Phi_0^2}{2RT},$$
$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 = \frac{3\Phi_0^2}{2RT}.$$

ตอบ ค. $3\Phi_0^2/(2RT)$

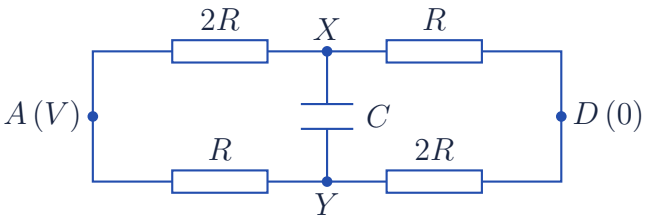
จุดที่ควรระวัง ช่วงลงมีกระแสกลับทิศ แต่กำลังความร้อนมาจากกระแสกำลังสอง ความร้อนทั้งสองช่วงจึงบวกกัน

ข้อ 14

ตัวเก็บประจุตรงกลางสะพาน

แขนงจาก A ไป D เรียง $2R, R$ และ $R, 2R$ ตามลำดับ จุดกลาง X และ Y เชื่อมกันด้วยตัวเก็บประจุ C

รอจนหยุดชาร์จ	→	หาศักย์สองจุดกลาง	→	หาแรงดันคร่อม
$I_C = 0$		$V_X,\ V_Y$		$\lvert V_Y - V_X \rvert$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ตอนแรกประจุอาจไหลเข้าแผ่น แต่พอแรงดันของแผ่นคงที่ ปริมาณประจุบนแผ่นก็ไม่เปลี่ยนอีก กิ่งตัวเก็บประจุจึงมีกระแสศูนย์ในสภาวะสุดท้าย เราหาแรงดันจุด X และ Y จากแขนงตัวต้านทานสองข้างได้ แล้วเอาศักย์สองจุดนี้มาลบกันเพื่อหาสิ่งที่ตัวเก็บประจุรับจริง

1. รอจนกระแสผ่านตัวเก็บประจุเป็นศูนย์

เหลือกระแสแต่ละแขนง $V/(3R)$ กำหนด D เป็นศูนย์ จึงคิดศักย์ที่จุดกลางจากแรงดันคร่อมตัวต้านทานช่วงก่อนถึง D

$$V_X = \frac{V}{3R}R = \frac{V}{3}, \qquad V_Y = \frac{V}{3R}(2R) = \frac{2V}{3}.$$

2. ใช้แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ

สองขั้วต่อที่ X กับ Y จึงมีแรงดันขนาด $V/3$

$$U = \frac{1}{2}C(V_Y - V_X)^2 = \frac{1}{2}C(V/3)^2 = \frac{CV^2}{18}.$$

ตอบ ข. $CV^2/18$

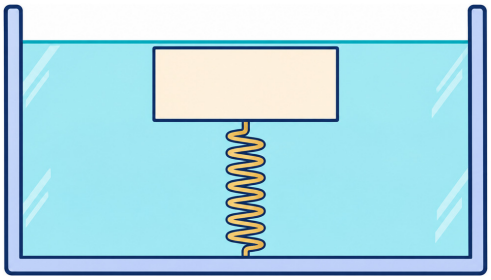
จุดที่ควรระวัง กระแสผ่านตัวเก็บประจุเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไปนาน แต่ยังมีแรงดันคร่อมและพลังงานสะสมได้

ข้อ 15

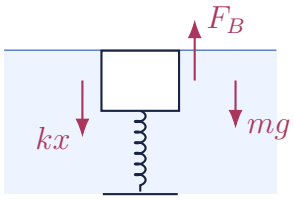
แรงพยุงสมดุลกับน้ำหนักและสปริง

วัตถุมวล m ปริมาตร V ถูกสปริงที่ยึดก้นถังดึงลงจนจมพอดีในของเหลวความหนาแน่น ρ

แรงพยุงขึ้น	→	น้ำหนักและสปริงลง	→	อยู่นิ่ง แรงลัพธ์ศูนย์
$\rho g V$		$mg + kx$		$\rho g V = mg + kx$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

ถ้าปล่อยก้อนอิสระ ก้อนมีแนวโน้มลอยขึ้น เพราะเมื่อจมทั้งก้อน ของเหลวที่ถูกแทนที่มีน้ำหนักมากกว่าก้อน สปริงที่ยึดก้นถังจึงทำหน้าที่ดึงลงมาชดเชยแรงส่วนเกิน วาดแรงขึ้นหนึ่งตัวและแรงลงสองตัว แล้วใช้เงื่อนไขอยู่นิ่งเพื่อหาแรงสปริง

1. ใส่แรงและทิศให้ครบ

จมมิดพอดี ปริมาตรของเหลวที่แทนที่คือ V ทั้งก้อน แรงพยุง $\rho g V$ ขึ้น น้ำหนัก mg ลง และสปริงยึดกับก้นถังจึงดึงลง

2. ให้แรงขึ้นเท่ากับแรงลง

วัตถุอยู่นิ่ง จึงได้

$$\begin{aligned} \rho g V - mg - kx &= 0, \\ x &= \frac{(\rho V - m)g}{k}. \end{aligned}$$

ตอบ ง. $x = (\rho V - m)g/k$

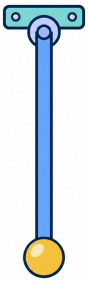
จุดที่ควรระวัง โจทย์ให้วัตถุเบากว่าของเหลว จึงมี $\rho V > m$ คำตอบเป็นระยะยืดบวกตามรูป

ข้อ 16

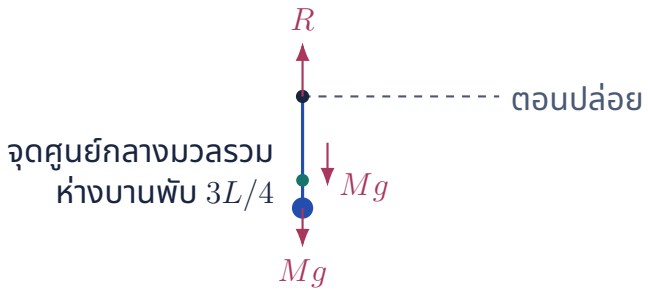
แรงบานพับตอนแท่งลงล่างสุด

แท่งสม่ำเสมอมวล M ยาว L ติดมวลจุด M ที่ปลาย ปล่อยจากแนวราบแล้วหาแรงบานพับที่ตำแหน่งต่ำสุด

เริ่มแท่งแนวราบ $v = 0$ → **พลังงานกลไปเป็นการหมุน** $U_i - U_f = \frac{1}{2}I\omega^2$ → **ล่างสุดเร่งขึ้นหาบานพับ** $a_{\text{cm}} = \omega^2 r_{\text{cm}}$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

แรงบานพับทำงานเป็นศูนย์ เพราะจุดออกแรงที่บานพับไม่ขยับ พลังงานศักย์ที่ลดลงจึงกลายเป็นพลังงานจลน์การหมุน เมื่อแท่งอยู่แนวดิ่งล่างสุด น้ำหนักชี้ผ่านแนวบานพับจึงไม่สร้างทอร์กขณะนั้น แต่จุดศูนย์กลางมวลยังวิ่งตามโค้ง ต้องมีความเร่งชี้กลับไปที่บานพับ แรงแนวดิ่งรวมจึงต้องชี้ขึ้น

1. ใช้พลังงานหาอัตราเร็วเชิงมุม

จุดกึ่งกลางแท่งลง $L/2$ มวลปลายลง L และโมเมนต์ความเฉื่อยรวมคือ $ML^2/3 + ML^2 = 4ML^2/3$

$$Mg(L/2) + MgL = \tfrac{1}{2}(4ML^2/3)\omega^2 \quad \Longrightarrow \quad \omega^2 = \frac{9g}{4L}.$$

2. ใช้กฎนิวตันกับจุดศูนย์กลางมวลรวม

ระยะจากบานพับคือ $[M(L/2) + ML]/(2M) = 3L/4$ ที่จุดต่ำสุดแรงโน้มถ่วงไม่สร้างทอร์กรอบบานพับ จึงมีเพียงความเร่งสู่ศูนย์กลางขึ้น

$$a_{\text{cm}} = \omega^2(3L/4) = 27g/16,$$
$$R - 2Mg = 2M(27g/16), \qquad R = 43Mg/8.$$

ตอบ ข. $43Mg/8$

จุดที่ควรระวัง แท่งกำลังเคลื่อนที่แม้ทอร์กเป็นศูนย์ขณะนั้น จึงยังมีความเร่งสู่ศูนย์กลาง และแรงบานพับมากกว่าน้ำหนักรวม

ข้อ 17

น้ำแข็งจะละลายหมดหรือไม่

น้ำแข็ง 0.10 kg ที่ -20°C ผสมกับน้ำ 0.30 kg ที่ 40°C ในภาชนะฉนวน

อุ่นน้ำแข็งให้ถึงศูนย์	→	หลอมให้หมด	→	อุ่นน้ำรวมที่เหลือ
$mc_{\text{ice}}\Delta T$		mL_f		$(m_1+m_2)c_w\Delta T$

เริ่มคิดจากตรงไหน

แบ่งสิ่งที่น้ำแข็งต้องรับเป็นสามตอน อุ่นจากอุณหภูมิติดลบถึงศูนย์ หลอมที่ศูนย์ แล้วจึงอุ่นน้ำที่ได้ พลังงานสองช่วงแรกคือ $mc\Delta T$ และ mL_f ตามลำดับ เราจะลองเอาความร้อนที่น้ำอุ่นปล่อยได้จนถึงศูนย์มาเทียบก่อน เพื่อรู้ว่าต้องคำนวณช่วงที่สามหรือไม่

1. ตั้งจุดตรวจที่ 0°C

ลองดูว่าน้ำอุ่นจะให้ความร้อนพออุ่นน้ำแข็งถึงศูนย์และละลายหมดไหม

$$\begin{aligned} Q_{\text{available}} &= (0.30)(4200)(40) = 50{,}400\,\text{J}, \\ Q_{\text{warm ice}} &= (0.10)(2100)(20) = 4{,}200\,\text{J}, \\ Q_{\text{melt}} &= (0.10)(336000) = 33{,}600\,\text{J}. \end{aligned}$$

2. นำพลังงานที่เหลือไปอุ่นน้ำรวม

น้ำแข็งละลายหมดแล้ว จึงเหลือน้ำ 0.40 kg ให้ความร้อนส่วนที่เหลือกับน้ำมวลรวมนี้จากศูนย์

$$\begin{aligned} Q_{\text{left}} &= 50{,}400 - 4{,}200 - 33{,}600 = 12{,}600\,\text{J}, \\ T_f &= \frac{12{,}600}{(0.40)(4200)} = 7.5^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

ตอบ ค. 7.5°C

จุดที่ควรระวัง ถ้าพลังงานจากน้ำอุ่นไม่พอให้ละลายหมด และยังมีน้ำกับน้ำแข็งอยู่ร่วมกัน อุณหภูมิสมดุลจะอยู่ที่ 0°C

ข้อ 18

เรโซแนนซ์กับค่าแก้ปลายท่อ

ท่อปิดหนึ่งปลายเกิดเรโซแนนซ์สองครั้งติดกันที่ 0.16 และ 0.50 m ใช้เสียง 500 Hz

ปลายปิดเป็นปม	→	รูปถัดไปเพิ่มครึ่งคลื่น	→	ลบให้ค่าแก้ปลายหาย
$L_1 + e = \lambda/4$		$L_2 + e = 3\lambda/4$		$L_2 - L_1 = \lambda/2$



เริ่มคิดจากตรงไหน

รูปคลื่นนิ่งในท่อถูกบังคับให้มีปมการกระจัดที่ปลายปิดและปฏิปมใกล้ปลายเปิด จากปมไปปฏิปมแรกห่างหนึ่งในสี่ความยาวคลื่น ถ้าจะไปถึงปฏิปมที่ใช้ได้ถัดไปต้องเพิ่มอีกครึ่งคลื่น ค่าแก้ปลายย้ายตำแหน่งปฏิปมทั้งสองกรณีเท่ากัน จึงตัดออกได้ด้วยการลบความยาว

1. ลบความยาวเพื่อให้ค่าแก้ปลายตัดกัน

ปลายปิดเป็นปมการกระจัด ปลายเปิดเป็นปฏิปมที่ตำแหน่งเชิงผล ดังนั้น

$$\begin{aligned} L_1 + e = \lambda/4, \qquad & L_2 + e = 3\lambda/4, \\ 0.50 - 0.16 = \lambda/2 \quad \Longrightarrow \quad & \lambda = 0.68\,\text{m}. \end{aligned}$$

2. หาอัตราเร็ว แล้วแทนกลับหาค่าแก้ปลาย

ใช้ $v = f\lambda$ และเงื่อนไขเรโซแนนซ์ครั้งแรก

$$v = 500(0.68) = 340\,\text{m/s}, \qquad e = 0.68/4 - 0.16 = 0.01\,\text{m}.$$

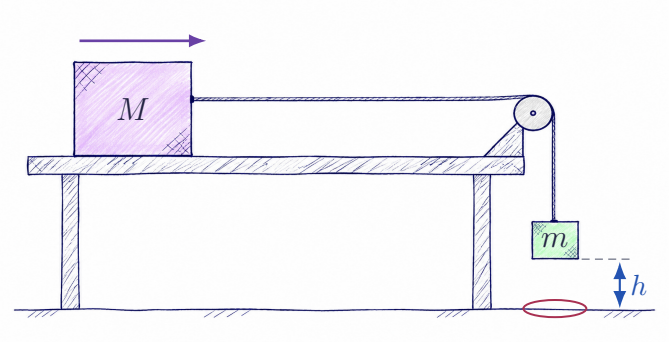
ตอบ ค. $340\,\text{m/s}$ **และ** $e = 0.01\,\text{m}$

จุดที่ควรระวัง ผลต่างความยาวของเรโซแนนซ์ติดกันคือครึ่งความยาวคลื่น แม้ครั้งแรกจะยาวเพียงหนึ่งในสี่คลื่นเมื่อรวมค่าแก้ปลาย

เชือกหย่อนแล้ว ก้อนบนโต๊ะไปต่อได้ไกลแค่ไหน?

มวล M อยู่บนโต๊ะหยาบที่มีสัมประสิทธิ์เสียดทานจลน์ μ_k เชื่อมกับมวลแขวน m ผ่านรอก เมื่อปล่อยระบบจากหยุดนิ่ง มวล m ตกลงไป h ก่อนแตะพื้น เมื่อ $m > \mu_k M$ โจทย์ถามว่าจากจังหวะนั้น M ไถลต่ออีกเท่าไร

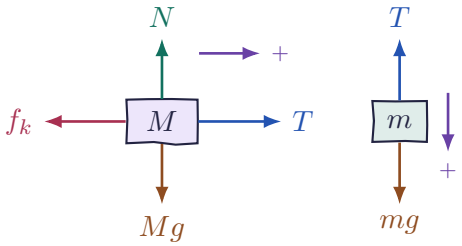
1 วาดเหตุการณ์ แล้ววงจุดที่ต้องแบ่งช่วง



ตอนเชือกตึง m ลงเท่าไร M ก็ไปขวาเท่านั้น เพราะเชือกยาวคงที่

จุดเปลี่ยน $\rightarrow$ m แตะพื้น เชือกหย่อนและแรงตึงหายไป แต่ M ยังมีความเร็ว v_0 จากช่วงแรก

2 แยกสองก้อน วาดแรงตอนเชือกยังตึง



เลือกขวาเป็นบวกสำหรับ M และลงเป็นบวกสำหรับ m

ก้อน M ไม่ลอยขึ้นหรือลง จึงมี $N = Mg$ และ $f_k = \mu_k Mg$

อ่านลูกศรตามแกนบวกของแต่ละก้อน

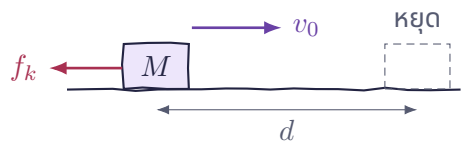
$$T - f_k = Ma$$
$$mg - T = ma$$

จับสองบรรทัดบวกกัน $T - T = 0$

$$mg - f_k = (M+m)a \quad \Rightarrow \quad a = \frac{mg - \mu_k Mg}{M+m}.$$

เริ่มจากหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ระยะ h ด้วยความเร่งคงที่ จึงได้ $v_0^2 = 2ah$ ณ จุดที่เชือกเริ่มหย่อน

3 วาดใหม่หลังเชือกหย่อน แล้วตามก้อน M ไปจนหยุด



รูปนี้แสดงเฉพาะแรงแนวราบที่ทำให้ความเร็วเปลี่ยน

ก้อนยังไปขวา แต่แรงเสียดทานชี้ซ้าย จึงมี $a_x = -f_k/M = -\mu_k g$

$$0 = v_0^2 + 2(-\mu_k g)d$$
$$d = \frac{v_0^2}{2\mu_k g} = \frac{2ah}{2\mu_k g}$$

ตอบ ค. ระยะที่ไถลต่อหลังเชือกหย่อน $d = \dfrac{h(m-\mu_k M)}{\mu_k(M+m)}$

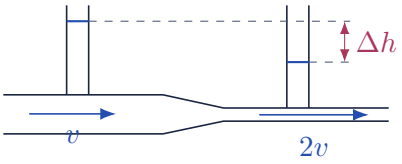
h เป็นระยะก่อนแตะพื้น ส่วน d เป็นระยะหลังแตะพื้น ทั้งสองช่วงเชื่อมกันด้วยความเร็ว v_0

ข้อ 20

หลอดวัดความดันในท่อเวนจูรี

น้ำไหลในท่อแนวระดับ จุดแรกมีอัตราเร็ว v จุดที่สอง $2v$ มีหลอดเปิดวัดระดับทั้งคู่

น้ำช้ากับน้ำเร็ว	→	เร็วขึ้น ความดันลด	→	คอลัมน์น้ำนิ่ง
$v_1 = v,\ v_2 = 2v$		$P_1 - P_2$		$P_1 - P_2 = \rho g \Delta h$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ในท่อแนวระดับ พลังงานต่อปริมาตรจากความสูงเท่ากัน จุดที่น้ำวิ่งเร็วขึ้นจึงได้พลังงานจลน์ต่อปริมาตรมากขึ้น และเหลือความดันสถิตน้อยลง ส่วนในหลอดตั้งน้ำอยู่นิ่ง ระดับที่สูงขึ้นคือระดับที่น้ำหนักของคอลัมน์น้ำชดเชยความดันส่วนเกินจากท่อได้พอดี

1. คิดผลต่างความดันก่อน

แบร์นูลลีตามท่อแนวระดับให้ความดันบวกพลังงานจลน์ต่อปริมาตรเท่ากัน

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v^2 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho (2v)^2,$$
$$P_1 - P_2 = \tfrac{1}{2}\rho (4v^2 - v^2) = \tfrac{3}{2}\rho v^2.$$

2. แปลงความดันเป็นระดับน้ำ

น้ำในหลอดวัดอยู่นิ่ง ปลายบนเปิดสู่อากาศ จึงมี $P_i - P_{\text{atm}} = \rho g h_i$

$$h_1 - h_2 = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{3v^2}{2g}.$$

ตอบ ก. ฝั่งช้าสูงกว่า $3v^2/(2g)$

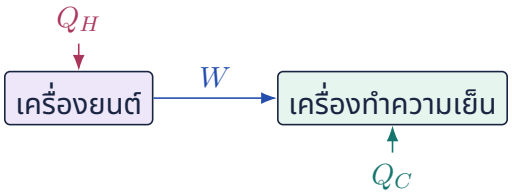
จุดที่ควรระวัง ความเร็วที่ใช้ในแบร์นูลลีเป็นความเร็วของน้ำในท่อหลัก ส่วนระดับในหลอดเกิดจากความดันสถิตที่จุดต่อ

ข้อ 21

เอางานเครื่องยนต์ไปทำความเย็น

เครื่องยนต์คาร์โนต์ 600 กับ 300 K รับ 1200 J ต่อรอบ งานทั้งหมดขับเครื่องทำความเย็นระหว่าง 250 กับ 300 K

เครื่องยนต์รับความร้อน	→	ส่งงานไปอีกเครื่อง	→	ย้ายความร้อนจากด้านเย็น
$Q_H = 1200\,\text{J}$		$W = \eta Q_H$		$Q_C = \text{COP}_R W$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ไล่เส้นทางพลังงานจากเครื่องแรกไปเครื่องที่สอง เครื่องยนต์รับความร้อนมาแล้วเปลี่ยนเป็นงานได้เพียงบางส่วน งานที่เหลือนี้จึงเป็นสิ่งที่ส่งไปขับเครื่องทำความเย็น สำหรับเครื่องคาร์โนต์ย้อนกลับได้ อัตราส่วนความร้อนที่ถ่ายกับอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากันทั้งด้านร้อนและเย็น จึงใช้อุณหภูมิหาได้ว่าเครื่องแต่ละตัวเปลี่ยนหรือย้ายพลังงานได้เท่าไร

1. หาเครื่องยนต์ส่งงานได้เท่าไร

เครื่องยนต์คาร์โนต์เปลี่ยนความร้อนที่รับเข้าเป็นงานด้วยประสิทธิภาพ $1 - T_C/T_H$

$$\eta = 1 - \frac{300}{600} = \frac{1}{2}, \qquad W = \eta Q_H = (1/2)(1200) = 600\,\text{J}.$$

2. เอางานนี้คูณสัมประสิทธิ์การทำความเย็น

ใช้คู่ของอุณหภูมิเครื่องทำความเย็น $250, 300$ K ตามโจทย์

$$\text{COP}_R = \frac{250}{300 - 250} = 5,$$
$$Q_C = \text{COP}_R W = 5(600) = 3000\,\text{J}.$$

ตอบ ง. ดึงพลังงานได้ $3000\,\text{J}$

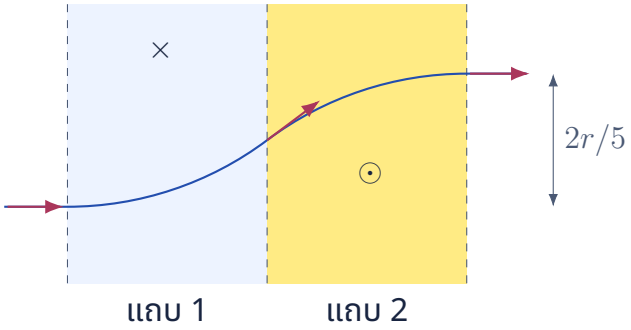
จุดที่ควรระวัง สัมประสิทธิ์ทำความเย็นเกิน 1 ได้ เพราะ 3000 J เป็นความร้อนที่ย้ายจากแหล่งเย็น และเครื่องยังต้องรับงาน 600 J จากภายนอก

ข้อ 22

เลี้ยวสองครั้งแล้วทิศเดิมกลับมา

ประจุบวกเข้าแถบสนามสองแถบกว้างแถบละ $3r/5$ สนามแรกเข้ากระดาษ สนามที่สองออกจากกระดาษ

สนามแถบแรก	→	สนามแถบสอง	→	ตามเส้นสัมผัสตอนออก
$\vec{B}\otimes$		$\vec{B}\odot$		$\vec{v}_{\text{out}}\rightarrow$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ทิศแรงแม่เหล็กตั้งฉากกับความเร็วอยู่เสมอ ความเร็วจึงมีขนาดคงเดิมและแนวลูกศรความเร็วเป็นเส้นสัมผัสวงกลม แถบที่สองสลับด้านของแรง ทำให้ศูนย์กลางความโค้งย้ายไปอีกฝั่ง ในรูปให้ตามทิศเส้นสัมผัสจากซ้ายไปขวา จะเห็นว่าการหักเลี้ยวกลับด้านได้ แต่ตำแหน่งที่สูงขึ้นในแถบแรกยังติดมาด้วย

1. ใช้กฎมือขวาเพื่อดูทิศที่วิถีโค้ง

ตอนเข้าแถบแรก $\vec{v}$ ไปขวาและ $\vec{B}$ เข้ากระดาษ แรงบนประจุบวกจึงชี้ขึ้น แถบที่สองสนามกลับทิศ ความโค้งจึงกลับทิศด้วย

2. ใช้ความกว้างของแถบหาเรขาคณิตของส่วนโค้ง

ให้ θ เป็นมุมความเร็วตอนข้ามรอยต่อ ในแถบแรก $r\sin\theta = 3r/5$ จึงได้ $\cos\theta = 4/5$ และขึ้น $r(1-4/5) = r/5$

3. แถบที่สองลดมุมจนกลับเป็นแนวราบ

รัศมีเท่าเดิมและกว้าง $r\sin\theta$ เท่าเดิม จึงลดมุมจาก θ ลงเป็นศูนย์พอดี ระหว่างลดมุมยังเคลื่อนขึ้นได้อีก $r/5$ รวม $2r/5$

ตอบ ก. ออกไปทางขวา สูงขึ้น $2r/5$

จุดที่ควรระวัง ทิศการโค้งกลับด้าน แต่ความเร็วแนวดิ่งยังชี้ขึ้นตลอดช่วงที่กำลังลดมุม

ข้อ 23

แยกความต้านทานสายวัด

วัดลวด L และ $2L$ ได้ 6.0 และ $10.0\,\Omega$ รวมสายวัดคู่เดิม จากนั้นความต้านทานของลวด L เพิ่ม 20%

วัดลวดสั้น	→	วัดลวดยาว	→	อุ่นเฉพาะลวดสั้น
$R_s + R = 6$		$R_s + 2R = 10$		$R_s + 1.2R$

เริ่มคิดจากตรงไหน

เครื่องวัดเห็นความต้านทานตลอดทางที่กระแสไหล จึงรวมลวดกับสายวัดทั้งคู่ ลวดวัสดุและหน้าตัดเดิมมี $R = \rho L/A$ ลวดยาวสองเท่าจึงมีความต้านทานสองเท่า แต่สายวัดเหมือนเดิม การลบค่าที่อ่านสองครั้งจะแยกส่วนของลวดออกได้

1. หาค่าของลวดกับสายวัดแยกกัน

ให้ R เป็นความต้านทานลวดยาว L และ S เป็นผลรวมสายวัดทั้งคู่ ลวดยาวสองเท่ามีค่าความต้านทานสองเท่าเมื่อวัสดุและหน้าตัดเท่ากัน

$$\begin{aligned} S + R &= 6.0, \\ S + 2R &= 10.0 \end{aligned} \quad \Longrightarrow \quad R = 4.0, \quad S = 2.0.$$

2. เพิ่ม 20% เฉพาะตัวลวด

สายวัดไม่ถูกอุ่น จึงยังมีค่า $2.0\,\Omega$

$$R_{\text{read}} = 2.0 + 1.20(4.0) = 6.8\,\Omega.$$

ตอบ ข. $6.8\,\Omega$

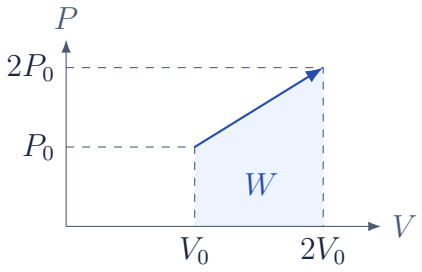
จุดที่ควรระวัง ถ้าเอา 6.0 ไปคูณ 1.20 จะเพิ่มค่าของสายวัดไปด้วย

ข้อ 24

พื้นที่ใต้กราฟบอกงานของแก๊ส

แก๊สอะตอมเดี่ยวเปลี่ยนจาก (V_0, P_0) ไป $(2V_0, 2P_0)$ ตามเส้นตรงบนกราฟ P กับ V

ลูกสูบดันออก	→	พื้นที่ใต้กราฟ	→	รวมพลังงานสองทาง
$dW = P\,dV$		$W = \int P\,dV$		$Q = \Delta U + W$



เริ่มคิดจากตรงไหน

แก๊สดันลูกสูบด้วยแรง $F = PA$ พอลูกสูบขยับ Δx งานช่วงสั้นคือ $PA\Delta x = P\Delta V$ จึงอ่านงานรวมจากพื้นที่ใต้กราฟ แต่ความร้อนที่ใส่เข้ามายังเปลี่ยนพลังงานภายในด้วย ต้องคิดพลังงานสองทางนี้แล้วรวมกันตามกฎข้อที่หนึ่ง

1. คิดงานจากพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู

แรงดันเปลี่ยนเป็นเส้นตรง จึงใช้ความดันเฉลี่ยคูณปริมาตรที่เพิ่ม

$$W = \frac{P_0 + 2P_0}{2}(2V_0 - V_0) = \tfrac{3}{2}P_0V_0.$$

2. หา ΔU แล้วใช้กฎข้อที่หนึ่ง

สำหรับแก๊สอะตอมเดี่ยว $U = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}PV$

$$\Delta U = \tfrac{3}{2}(4P_0V_0 - P_0V_0) = \tfrac{9}{2}P_0V_0,$$
$$Q = \Delta U + W = (\tfrac{9}{2} + \tfrac{3}{2})P_0V_0 = 6P_0V_0.$$

ตอบ ง. $Q = 6P_0V_0$

จุดที่ควรระวัง พื้นที่ใต้กราฟคืองาน ส่วนความร้อนยังต้องรวมพลังงานภายในที่เปลี่ยนไป

ข้อ 25

กระแสในวงจร RL ตอนเริ่มกับตอนท้าย

วงจรอนุกรมมีแบตเตอรี่ $\mathcal{E}$ ตัวต้านทาน R และตัวเหนี่ยวนำ L เพิ่มตัวต้านทานเป็น $2R$

เริ่มต้นกระแสศูนย์	→	แรงดันอยู่ที่ตัวเหนี่ยวนำ	→	พอนิ่งเหลือแรงดันคร่อมตัวต้านทาน
$I(0)=0$		$L\,dI/dt=\mathcal{E}$		$IR=\mathcal{E}$

เริ่มคิดจากตรงไหน

ตัวเหนี่ยวนำเกิดแรงดันต้านการเปลี่ยนกระแส ขนาดแรงดันคือ $L\,dI/dt$ ถ้ากระแสจะกระโดดทันที จะต้องใช้แรงดันสูงไม่จำกัด ซึ่งแบตเตอรี่ทำไม่ได้ ดังนั้นกระแสตอนเริ่มยังเป็นศูนย์ หลังรอนานกระแสไม่เปลี่ยนแล้ว แรงดันส่วนนี้หายไป เหลือแต่แรงดันคร่อมตัวต้านทาน

1. ตอนปิดสวิตช์ทันที

กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนแบบกระโดดไม่ได้ เริ่มที่ $I=0$ จึงยังไม่มีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน

$$\mathcal{E}=IR+L\frac{dI}{dt}\quad\Longrightarrow\quad \left.\frac{dI}{dt}\right|_{0^+}=\frac{\mathcal{E}}{L}.$$

2. หลังรอนานจนกระแสคงที่

เมื่อ $dI/dt=0$ แรงดันจากตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ กระแสถูกกำหนดด้วยตัวต้านทาน

$$I_{\infty,1}=\frac{\mathcal{E}}{R},\qquad I_{\infty,2}=\frac{\mathcal{E}}{2R}=\frac{1}{2}I_{\infty,1}.$$

ตอบ ค. อัตราเพิ่มตอนเริ่มเท่าเดิม กระแสสุดท้ายเหลือครึ่ง

จุดที่ควรระวัง ความต้านทานที่เพิ่มมีผลกับกระแสปลาย แต่ยังไม่ส่งผลต่อความชันตรงจุดเริ่มที่ $IR=0$