SIRINOVA
EDUCATION STUDIO

PRACTICE EXAM

A-LEVEL PHYSICS

เฉลยละเอียด • ชุดที่ 1



SIRINOVA EDUCATION STUDIO

เฉลยละเอียด A-Level ฟิสิกส์

ชุดที่ 1 / ฉบับแจกฟรี 25 ข้อ

เลือกเลขข้อในตารางเพื่อเปิดวิธีทำได้เลย แต่ละข้อเริ่มจากสรุปโจทย์ ตามด้วยแถบภาพพาคิดสามช่วง ไล่จากสิ่งที่สังเกตในโจทย์ไปถึงสมการ แล้วจึงอ่านเหตุผลและวิธีทำทีละบรรทัด รูปประกอบในเฉลยเน้นแสดงทิศทางหรือความสัมพันธ์ และอาจวาดไม่ตามมาตราส่วน

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

วิธีใช้เฉลย

ลองทำโจทย์จากข้อสอบต้นฉบับก่อน แล้วอ่านทีละขั้น ถ้าคำตอบไม่ตรงกัน ให้ย้อนดูว่าต่างกันตั้งแต่การเลือกหลักฟิสิกส์ การตั้งแกน หรือการแทนค่า

เปิดข้อสอบต้นฉบับชุดที่ 1 บน Google Drive

ข้อ 1

ฟลักซ์กลับมาเท่าเดิม

พื้นที่วงลวดเพิ่มขึ้น แต่สนามแม่เหล็กลดลง ให้หาประจุสุทธิแบบมีเครื่องหมายและดูว่าเกิดความร้อนหรือไม่

พื้นที่โต	→	สนามอ่อนลง	→	อ่านความชัน
$A\uparrow$		$B\downarrow$		$\Phi = BA \;\to\; I$

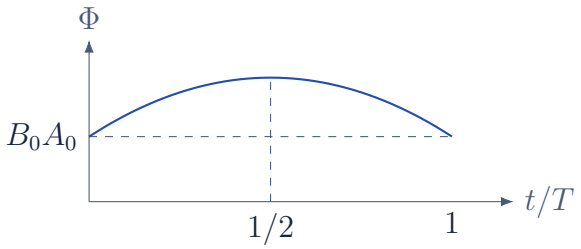
เริ่มคิดจากตรงไหน

ฟลักซ์คือปริมาณสนามที่ทะลุหน้าวงลวด จึงต้องดูทั้งความเข้มสนามและขนาดพื้นที่พร้อมกัน เวลาเอาแม่เหล็กเข้าแล้วดึงกลับ กระแสสองช่วงอาจไหลสวนกันได้ แม้ลวดร้อนขึ้นทั้งสองช่วง ข้อนี้ก็ใช้หลักเดียวกัน จากกฎฟาราเดย์ $\mathcal{E} = -d\Phi/dt$ แล้วใช้ $\mathcal{E} = IR$ จึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของฟลักซ์กับกระแส เครื่องหมายลบบอกทิศ ส่วนกำลังความร้อนดูจาก I^2R

1. ดูผลคูณของสนามกับพื้นที่

สนามตั้งฉากกับวงลวด จึงใช้ $\Phi = BA$ ได้เลย ให้ $x = t/T$ จะเห็นว่าฟลักซ์ขึ้นก่อนแล้วลง

$$\begin{aligned}\Phi &= B_0A_0(1+x)(1-x/2)\\ &= B_0A_0(1+x/2-x^2/2),\\ \Phi(0) = \Phi(T) &= B_0A_0, \qquad \Phi(T/2) = \tfrac{9}{8}B_0A_0.\end{aligned}$$



2. ประจุรวมดูต้นกับปลาย แต่ความร้อนดูทั้งช่วง

$I = -\frac{1}{R}\frac{d\Phi}{dt}$ จึงมี

$$q = \int_0^T I\,dt = -\frac{\Phi(T)-\Phi(0)}{R} = 0.$$

กระแสมีทั้งสองทิศและประจุแบบมีเครื่องหมายหักล้างกัน แต่ I^2R เป็นบวกทุกครั้งที่มีกระแส ดังนั้นความร้อนรวมมากกว่าศูนย์

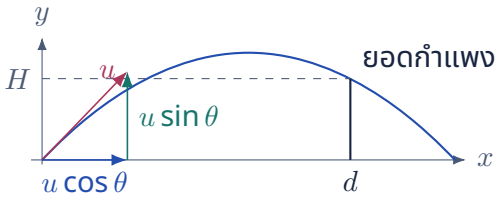
ตอบ ก. ประจุสุทธิเป็นศูนย์ แต่ความร้อนมากกว่าศูนย์

ข้อ 2

อัตราเร็วต้นต่ำสุด

ยิงให้ผ่านจุดที่ห่างแนวราบ d และสูง H เลือกมุมยิงได้อิสระ

แยกความเร็ว	→	กำแพงบังคับจุด	→	หาขอบเขต
$u\cos\theta,\ u\sin\theta$		$(x,y)=(d,H)$		disc $=0$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ถ้ากำหนดความเร็วต้นแล้ว มุมยิงเป็นสิ่งเดียวที่ยังเลือกได้ ยิงชันขึ้นทำให้ไปแนวราบช้าลง เราจึงต้องให้สมการแนวราบและแนวดิ่งไปถึงยอดกำแพงในเวลาเดียวกัน

---

1. เขียนเงื่อนไขว่าไปถึงยอดกำแพง

ที่ $x=d$ เวลาคือ $t=d/(u\cos\theta)$ แทนลงในสมการแนวดิ่งแล้วจัดรูป โดยให้ $p=\tan\theta$

$$H = u\sin\theta\, t - \tfrac{1}{2}gt^2 = dp - \frac{gd^2}{2u^2}(1+p^2).$$

---

2. ถ้ายิงช้าเกินไป จะหามุมจริงไม่ได้

ให้ $b=gd^2/(2u^2)$ แล้วจัดสมการตำแหน่งเป็นสมการกำลังสองของ p ถ้ามุมยิงมีจริง สมการนี้ต้องมีรากจริง

$$\begin{aligned} bp^2 - dp + (H+b) &= 0, \\ d^2 - 4b(H+b) &\geq 0. \end{aligned}$$

---

3. หาขอบเขตที่เพิ่งยิงถึงได้

u ยิ่งน้อย b ยิ่งมาก ดังนั้น u ต่ำสุดเกิดเมื่อ b มากสุดพอดี ใช้เครื่องหมายเท่ากับในบรรทัดก่อน

$$\begin{aligned} 4b^2 + 4Hb - d^2 &= 0, \\ b_{\max} &= \frac{\sqrt{H^2+d^2}-H}{2}, \\ u^2_{\min} &= \frac{gd^2}{\sqrt{H^2+d^2}-H} = g(\sqrt{H^2+d^2}+H). \end{aligned}$$

ตอบ ง. $\sqrt{g(\sqrt{d^2+H^2}+H)}$

จุดที่ควรระวัง ตัวคูณในบรรทัดสุดท้ายได้จากคูณทั้งเศษและส่วนด้วย $\sqrt{H^2+d^2}+H$ แล้วจึงถอดรากหา $u_{\min}$

ข้อ 3

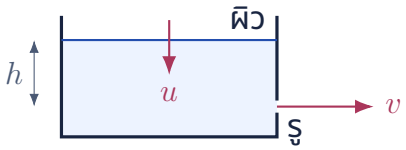
น้ำที่ผิวถังก็เคลื่อน

ถังเปิดหน้าตัด A รูระบายมีพื้นที่ $A/2$ และอยู่ต่ำกว่าผิวของเหลว h

ผิวลงกับน้ำออก	→	หารเวลาเดียวกัน	→	เทียบผิวกับรู
$A\Delta y = a\Delta x$		$Au = av$		$P_1 = P_2$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

มองลูกศรที่ผิวในรูป ถ้าผิวลดลง Δy ปริมาตรน้ำที่หายจากถังคือ $A\Delta y$ ส่วนที่รู น้ำเดินทางออก Δx จึงมีปริมาตร $(A/2)\Delta x$ เป็นน้ำชุดเดียวกันในเวลาเท่ากันจึงเทียบสองปริมาตรได้ น้ำที่ผิวเองมีพลังงานจลน์ด้วย เพราะฉะนั้นตอนใช้แบร์นูลลีต้องเก็บความเร็วทั้งสองจุด

1. เชื่อมความเร็วที่ผิวกับที่รู

ให้ u เป็นอัตราเร็วผิวที่ลดลง และ v เป็นอัตราเร็วที่รู น้ำที่ผิวลดระดับลงต่อวินาทีต้องเท่ากับน้ำที่ไหลออกต่อวินาที

$$\begin{aligned} A\,\Delta y &= (A/2)\,\Delta x, \\ A\,\frac{\Delta y}{\Delta t} &= (A/2)\,\frac{\Delta x}{\Delta t} \quad\Longrightarrow\quad Au = (A/2)v \quad\Longrightarrow\quad u = v/2. \end{aligned}$$

2. เขียนแบร์นูลลีจากผิวถึงรู

ทั้งสองจุดมีความดันบรรยากาศเท่ากัน เลือกระดับรูเป็นศูนย์แล้วตัดความดันออก

$$\begin{aligned} P_{\text{atm}} + \tfrac{1}{2}\rho u^2 + \rho g h &= P_{\text{atm}} + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g(0), \\ \tfrac{1}{2}u^2 + gh &= \tfrac{1}{2}v^2, \\ 2gh &= v^2 - (v/2)^2 = \frac{3}{4}v^2, \\ v &= \sqrt{\frac{8gh}{3}}. \end{aligned}$$

ตอบ ง. $\sqrt{8gh/3}$

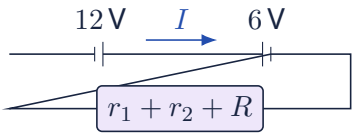
จุดที่ควรระวัง สูตร $\sqrt{2gh}$ ใช้เมื่อผิวเคลื่อนช้าจนละเลยได้ ข้อนี้รูใหญ่ถึงครึ่งหนึ่งของหน้าตัดถัง

ข้อ 4

แบตเตอรี่ก้อนเล็กกำลังรับกระแส

แบตเตอรี่ 12 V กับ 6 V ต่ออนุกรมต้านกัน ความต้านทานภายในก้อนละ $1\,\Omega$ และโหลด $4\,\Omega$

เดินรอบวง	→	บวกแรงดันตก	→	ดูเฉพาะก้อนเล็ก
$+12-6$		$I(r_1+r_2+R)$		$\mathcal{E}+Ir$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ลองเดินรอบวงจรไปตามกระแสสมมติ ผ่านแหล่งจ่ายจากขั้วลบไปบวก ศักย์เพิ่ม $+\mathcal{E}$ ผ่านจากบวกไปลบ ศักย์ลด $-\mathcal{E}$ และผ่านตัวต้านทานตามกระแส ศักย์ลด IR พอกลับถึงจุดเดิม ศักย์ต้องกลับมาเท่าเดิม หลักนี้ใช้ทั้งหากระแสทั้งวงและหาแรงดันคร่อมก้อนเล็ก

1. หาทิศและขนาดกระแส

ก้อน 12 V ชนะ กระแสจึงเข้าขั้วบวกของก้อน 6 V แรงเคลื่อนไฟฟ้าหักล้างกัน ส่วนความต้านทานบวกกัน

$$12-6-I(1+1+4)=0,$$
$$I=1\,\text{A}.$$

2. วัดเฉพาะระหว่างขั้วของก้อน 6 V

ตอนถูกชาร์จ แรงดันที่ขั้วต้องเอาชนะแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่และแรงดันตกในความต้านทานภายใน

$$V_{\text{terminal}}=\mathcal{E}+Ir=6+(1)(1)=7\,\text{V}.$$

ตอบ ค. $7\,\text{V}$

จุดที่ควรระวัง ดูทิศกระแสก่อนเลือกเครื่องหมาย กระแสเข้าขั้วบวกใช้ $\mathcal{E}+Ir$ กระแสออกจากขั้วบวกขณะจ่ายไฟใช้ $\mathcal{E}-Ir$

ข้อ 5

หม้อแปลงที่มีการสูญเสีย

ประสิทธิภาพ 90% ด้านเข้ารับ 120 V และ 2.0 A ตัวประกอบกำลัง 1 ด้านออกจ่ายโหลดตัวต้านทานที่ 24 V

กำลังเข้า	→	ถึงโหลด	→	ส่วนที่หายไป
$V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos\phi$		$P_{\text{out}} = \eta P_{\text{in}}$		$P_{\text{in}} - P_{\text{out}}$

เริ่มคิดจากตรงไหน

วัตต์หมายถึงพลังงานต่อวินาที เราจึงตั้งบัญชีว่ากำลังเข้าแบ่งเป็นกำลังที่ไปถึงโหลดและกำลังที่สูญเสีย สำหรับไฟสลับ ใช้กำลังเฉลี่ย $P = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos\phi$ เพราะแรงดันกับกระแสอาจขึ้นลงไม่พร้อมกัน ประสิทธิภาพบอกสัดส่วนกำลังจริงที่ออกไปถึงโหลด

1. หาพลังงานที่ส่งได้ในแต่ละวินาที

ใช้แรงดันและกระแส RMS ตามที่โจทย์ให้

$$P_{\text{in}} = (120)(2.0)(1) = 240\,\text{W},$$
$$P_{\text{out}} = 0.90(240) = 216\,\text{W}.$$

2. แปลงกำลังด้านออกเป็นกระแสและหาส่วนต่าง

โหลดเป็นตัวต้านทาน จึงมีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 เช่นกัน

$$I_{\text{out}} = 216/24 = 9\,\text{A},$$
$$P_{\text{loss}} = 240 - 216 = 24\,\text{W}.$$

ตอบ ค. $9\,\text{A}$ และ $24\,\text{W}$

จุดที่ควรระวัง ถ้าตอบ 10 A จะเท่ากับสมมติว่ากำลังส่งถึงโหลดครบ 240 W ทั้งที่โจทย์ระบุการสูญเสีย

ข้อ 6

กัมมันตภาพจะเท่ากันเมื่อไร

เริ่มจากจำนวนนิวเคลียสเท่ากัน ครึ่งชีวิตของ X และ Y คือ 2 กับ 4 ชั่วโมง

จำนวนที่เหลือ	→	คูณโอกาสสลาย	→	เทียบอัตราที่วัด
$N_X(t),\ N_Y(t)$		$\lambda_X N_X,\ \lambda_Y N_Y$		$\mathcal{A}_X = \mathcal{A}_Y$

เริ่มคิดจากตรงไหน

จำนวนนิวเคลียสที่เหลือกับอัตราที่มันสลายเป็นคนละอย่าง นิวเคลียสแต่ละตัวมีโอกาสสลายต่อหน่วยเวลาเท่ากับ λ โดยประมาณ ดังนั้นมี N ตัวจะสลายเฉลี่ย λN ตัวต่อหน่วยเวลา ครึ่งชีวิตสั้นจึงได้เปรียบในตอนแรก แต่จำนวนตัวที่ยังเหลือจะลดลงเร็วกว่า

1. เทียบกัมมันตภาพตั้งต้น

กัมมันตภาพ $\mathcal{A} = \lambda N$ และ $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$ ดังนั้น X สลายเร็วเป็นสองเท่าของ Y ต่อหนึ่งนิวเคลียส

$$\mathcal{A}_X(0) = 2\mathcal{A}_Y(0).$$

2. คิดอัตราส่วนเมื่อเวลาผ่านไป

t วัดเป็นชั่วโมง X ผ่าน $t/2$ ครึ่งชีวิต ส่วน Y ผ่าน $t/4$ ครึ่งชีวิต

$$\frac{\mathcal{A}_X(t)}{\mathcal{A}_Y(t)} = 2\frac{(1/2)^{t/2}}{(1/2)^{t/4}} = 2^{1-t/4},$$
$$2^{1-t/4} = 1 \Longrightarrow t = 4\,\text{h}.$$

ตอบ ง. 4 ชั่วโมง

จุดที่ควรระวัง ที่ 4 ชั่วโมง X เหลือนิวเคลียสหนึ่งในสี่ ส่วน Y เหลือครึ่งหนึ่ง X จึงมีจำนวนนิวเคลียสครึ่งหนึ่งของ Y แต่ค่าคงตัวการสลายเป็นสองเท่าพอดี

ข้อ 7

ฟิวชันปล่อยพลังงานจากอะไร

นิวเคลียสสองตัวมีพลังงานยึดเหนี่ยวตัวละ 2 MeV รวมกันเป็นนิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยว 28 MeV

ก่อนรวม		หลังรวม		พลังงานที่ปล่อย
$B_{\text{i}} = 2 + 2$	$\rightarrow$	$B_{\text{f}} = 28$	$\rightarrow$	$B_{\text{f}} - B_{\text{i}}$

เริ่มคิดจากตรงไหน

พลังงานยึดเหนี่ยวคือพลังงานที่ต้องเติมเพื่อแกะนิวเคลียสให้เป็นนิวคลีออนแยกกัน ใช้นิวคลีออนแยกชุดเดียวกันเป็นระดับอ้างอิงทั้งก่อนและหลังรวม นิวเคลียสที่ยึดแน่นขึ้นจึงอยู่ต่ำลงบนสเกลพลังงาน ส่วนต่างที่ลดลงต้องออกจากระบบ

1. นับพลังงานยึดเหนี่ยวทั้งระบบ

ก่อนรวมมีสองตัวจึงต้องนับทั้งคู่ หลังรวมมีหนึ่งตัว

$$B_i = 2 + 2 = 4\,\text{MeV}, \qquad B_f = 28\,\text{MeV}.$$

2. หาส่วนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อจำนวนนิวคลีออนรวมเท่าเดิม พลังงานยึดเหนี่ยวที่มากขึ้นหมายถึงมวลนิ่งรวมลดลง พลังงานส่วนต่างจึงถูกปล่อยออกมา

$$Q = B_f - B_i = 28 - 4 = 24\,\text{MeV}.$$

ตอบ ค. $24\,\text{MeV}$

จุดที่ควรระวัง 28 MeV คือค่าของนิวเคลียสตัวสุดท้าย ส่วนพลังงานที่ปล่อยระหว่างรวมต้องหักพลังงานยึดเหนี่ยวเดิมด้วย

ข้อ 8

กำลังที่ทำให้น้ำเดือดจริง

ฮีตเตอร์ 500 W สูญเสียสู่ห้อง 100 W ลดความต้านทานเหลือครึ่งหนึ่งที่แรงดันเดิม

ไฟเข้าฮีตเตอร์	→	หักที่รั่วออก	→	ส่วนที่ทำให้เดือด
V^2/R		$P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}$		$L_v\dot{m}$



เริ่มคิดจากตรงไหน

นึกถึงน้ำที่กำลังเดือดอยู่แล้ว ถ้าเติมพลังงานให้มัน พลังงานส่วนนั้นไปทำให้น้ำกลายเป็นไอ พลังงานที่ต้องใช้กับมวล Δm คือ $L_v\Delta m$ หารด้วยเวลาแล้วได้อัตรากำลังที่ต้องส่งถึงน้ำจริง ส่วนกำลังไฟเข้าคิดจาก $P = VI$ และใช้ $I = V/R$ เมื่อแรงดันถูกตรึง

1. หากำลังไฟฟ้าใหม่

เมื่อแรงดันคงที่ $P = V^2/R$ ดังนั้นความต้านทานเหลือครึ่งเดียว กำลังเพิ่มเป็น $2(500) = 1000\,\text{W}$

2. หักการสูญเสียในแต่ละกรณี

น้ำเดือดอยู่แล้ว กำลังสุทธิไปใช้เปลี่ยนสถานะ โดย $P_{\text{net}} = \dot{m}L_v$

$$
\begin{aligned}
P_{\text{net},1} &= 500 - 100 = 400\,\text{W},\\
P_{\text{net},2} &= 1000 - 100 = 900\,\text{W},\\
\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} &= \frac{900/L_v}{400/L_v} = \frac{9}{4}.
\end{aligned}
$$

ตอบ ก. $9/4$ **เท่า**

จุดที่ควรระวัง กำลังไฟเข้าเพิ่มสองเท่า แต่ส่วนที่น้ำได้รับเพิ่มมากกว่าสองเท่า เพราะห้องดึงไป 100 W เท่าเดิม

ข้อ 9

ใช้สองความถี่หาฟังก์ชันงาน

ความถี่ f ให้ศักย์หยุดยั้ง 1.0 V และความถี่ $2f$ ให้ 4.0 V

โฟตอนเข้า		จ่ายค่าออกจากผิว		ส่วนที่เหลือ
hf	→	ϕ	→	$K_{\max} = eV_s$



เริ่มคิดจากตรงไหน

โฟตอนให้พลังงาน hf ส่วนหนึ่งใช้ดึงอิเล็กตรอนออกจากโลหะ เท่ากับฟังก์ชันงาน ϕ ส่วนที่เหลือกลายเป็นพลังงานจลน์สูงสุด เวลาวัดศักย์หยุดยั้ง สนามไฟฟ้าทำงานต้านจนตัวที่เร็วที่สุดเพิ่งหยุด จึงวัดส่วนที่เหลือนี้ได้จากขนาดงาน eV_s

1. เปลี่ยนศักย์หยุดยั้งเป็นพลังงาน

สำหรับอิเล็กตรอน $K_{\max} = eV_s$ ดังนั้นศักย์หยุดยั้ง 1 V หมายถึงพลังงานจลน์สูงสุด 1 eV

$$hf - \phi = 1.0\,\text{eV},$$
$$2hf - \phi = 4.0\,\text{eV}.$$

2. ลบสมการแล้วแทนกลับ

ฟังก์ชันงานเป็นของโลหะเดิม จึงหักล้างกันเมื่อลบสมการ

$$hf = 4.0 - 1.0 = 3.0\,\text{eV},$$
$$\phi = 3.0 - 1.0 = 2.0\,\text{eV}.$$

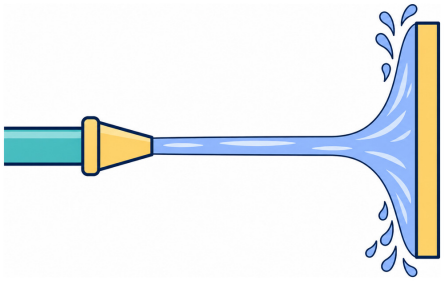
ตอบ ค. $2.0\,\text{eV}$

ข้อ 10

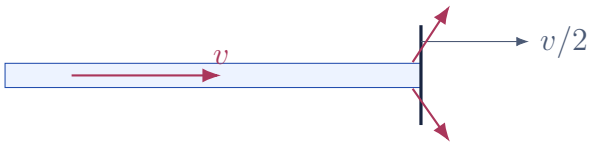
แผ่นหนีเจ็ตน้ำ

น้ำพุ่งด้วย v ชนแผ่นที่หนีไปด้วย $v/2$ หลังชนความเร็วตามแกนของน้ำเท่ากับของแผ่น

น้ำไล่ทันแผ่น	→	มวลที่ชนต่อวินาที	→	โมเมนตัมที่เปลี่ยน
$v_{\text{rel}} = v - u$		$\rho A(v-u)$		$F = \dot{m}(v-u)$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

แรงมาจากการที่แผ่นเปลี่ยนโมเมนตัมของน้ำต่อวินาที ให้ถามสองเรื่องแยกกันก่อน น้ำชนแผ่นกี่กิโลกรัมในหนึ่งวินาที และน้ำแต่ละกิโลกรัมเปลี่ยนความเร็วไปเท่าไร คำถามแรกต้องใช้ความเร็วของน้ำเทียบกับแผ่น ส่วนคำถามที่สองใช้ความเร็วก่อนและหลังที่วัดจากพื้นเหมือนกัน

1. นับว่าน้ำชนกี่กิโลกรัมต่อวินาที

ความเร็วที่น้ำไล่ทันแผ่นคือ $v - v/2 = v/2$ มวลที่ชนต่อวินาทีจึงเป็น $\rho A(v/2)$

2. ดูว่าแต่ละกิโลกรัมเสียโมเมนตัมเท่าไร

ก่อนชนองค์ประกอบตามแกนคือ v หลังชนคือ $v/2$ น้ำเสียโมเมนตัมตามแกนต่อหน่วยมวล $v/2$ แผ่นได้แรงไปข้างหน้า

จากกฎข้อสองของนิวตัน ขนาดแรงที่เปลี่ยนโมเมนตัมของน้ำคือ $\dot{m}\,|\Delta v_x|$ แรงที่น้ำกระทำต่อแผ่นมีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้าม

$$F_{\text{moving}} = \rho A(v/2)(v/2) = \rho A v^2/4,$$
$$F_{\text{fixed}} = \rho A(v)(v) = \rho A v^2.$$

ตอบ ง. แรงเหลือ $1/4$ เท่า

จุดที่ควรระวัง มีตัวคูณครึ่งสองครั้ง เพราะทั้งมวลที่ชนต่อวินาทีและการเปลี่ยนความเร็วของน้ำลดลง

ข้อ 11

สปริงหลายตัวกับคาบ

จัดสปริงค่า k สามตัวเป็นขนานสองตัวแล้วอนุกรมกับตัวที่สาม ต่อมาจัดขนานทั้งสามและเพิ่มมวลจาก m เป็น $2m$

ขนานยืดเท่ากัน	→	อนุกรมใช้แรงเท่ากัน	→	คาบตามมวลและสปริง
$F_{\text{total}} = F_1 + F_2$		$x_{\text{total}} = x_1 + x_2$		$T \propto \sqrt{m/k_{\text{eq}}}$

เริ่มคิดจากตรงไหน

สปริงขนานถูกยืดเท่ากันและช่วยกันดึง แรงรวมจึงมากขึ้นสำหรับระยะยืดเดียว ส่วนสปริงอนุกรมถูกดึงด้วยแรงเท่ากัน แต่ต้องบวกระยะยืดของแต่ละตัว จึงได้ความสัมพันธ์ของส่วนกลับ เมื่อแทนชุดสปริงด้วยตัวเดียวแล้ว ให้คิดจาก $ma = -k_{\text{eq}}x$ ความถี่เชิงมุมจึงมี $\omega^2 = k_{\text{eq}}/m$

---

1. รวมสปริงของแต่ละแบบ

ขนานบวกค่าคงตัวตรง ๆ ส่วนอนุกรมบวกส่วนกลับ

$$\begin{aligned} k_{\parallel} &= 2k, \\ \frac{1}{k_1} &= \frac{1}{2k} + \frac{1}{k} = \frac{3}{2k} \quad \Longrightarrow \quad k_1 = \frac{2k}{3}, \\ k_2 &= 3k. \end{aligned}$$

---

2. เทียบคาบโดยให้ 2π ตัดกัน

ใช้ $T = 2\pi\sqrt{m/k_{\text{eq}}}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{2m/(3k)}{m/(2k/3)}} = \sqrt{\frac{4}{9}} = \frac{2}{3}.$$

ตอบ ข. $T_2/T_1 = 2/3$

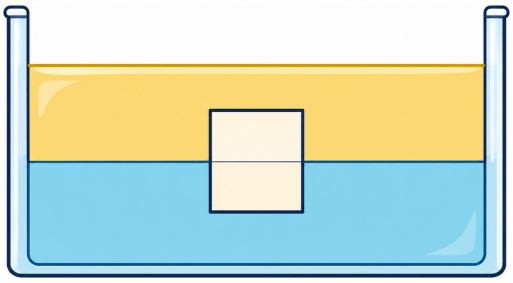
จุดที่ควรระวัง ทั้งมวลและความแข็งเพิ่มขึ้น ต้องเทียบอัตราส่วน m/k เพื่อดูว่าผลใดเด่นกว่า

ข้อ 12

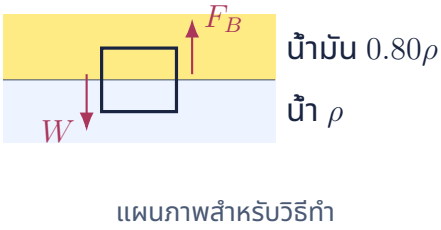
ลูกบาศก์คาบรอยต่อน้ำกับน้ำมัน

ลูกบาศก์มีความหนาแน่น 0.90ρ จมในของเหลวทั้งหมด น้ำมีความหนาแน่น ρ น้ำมัน 0.80ρ

แยกปริมาตรในน้ำ	→	แยกปริมาตรในน้ำมัน	→	แรงขึ้นเท่ากับน้ำหนัก
xV		$(1-x)V$		$F_{B,1}+F_{B,2}=mg$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

แรงพยุงของแต่ละชั้นเท่ากับน้ำหนักของของเหลวชั้นนั้นที่ลูกบาศก์เข้าไปแทนที่ ส่วนที่อยู่ในน้ำกับในน้ำมันจึงต้องใช้ความหนาแน่นคนละค่า วัตถุอยู่นิ่งตามรูป เลยตั้งเงื่อนไขว่าแรงพยุงทั้งสองส่วนรวมกันพอดีกับน้ำหนักก้อน

---

1. เขียนแรงพยุงของของเหลวทั้งสอง

ให้ V เป็นปริมาตรลูกบาศก์ และ x เป็นสัดส่วนที่อยู่ในน้ำ ปริมาตรในน้ำมันจึงเป็น $(1-x)V$

$$\begin{aligned}\rho g(xV)+0.80\rho g(1-x)V &= 0.90\rho gV,\\ x+0.80(1-x) &= 0.90,\\ 0.20x = 0.10 &\Longrightarrow x=\tfrac{1}{2}.\end{aligned}$$

ตอบ ข. ปริมาตรในน้ำเป็น $1/2$

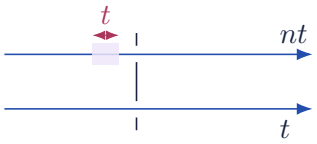
จุดที่ควรระวัง ในภาพ F_B คือแรงพยุงรวม ส่วนสมการแยกแรงพยุงจากน้ำและน้ำมันเพื่อใช้ความหนาแน่นที่ต่างกัน

ข้อ 13

แผ่นบางหน้าเพียงหนึ่งสลิต

แสง 600 nm ผ่านสลิตคู่ ใส่แผ่นดัชนี 1.50 หน้าสลิตเดียวแล้วแถบเลื่อน 5 ช่วง

ช่วงเดิมเป็นอากาศ	→	ใส่แผ่นบางแทน	→	เฟสเลื่อนห้ารอบ
OPL $= t$		OPL $= nt$		$(n-1)t = 5\lambda$



เริ่มคิดจากตรงไหน

แสงที่ไปถึงจุดเดียวกันจะเสริมหรือหักล้างกันขึ้นกับเฟสที่ต่างกัน แผ่นบางทำให้คลื่นเส้นหนึ่งเดินช้าลง แม้ระยะทางจริงเท่าเดิม เราแทนความล่าช้านี้ด้วยระยะทางเชิงแสง ทุกครั้งที่ทางเดินเชิงแสงเพิ่มอีกหนึ่งความยาวคลื่น เฟสเพิ่มครบหนึ่งรอบและลายเลื่อนหนึ่งช่วง

1. แปลงความหนาเป็นทางเดินเชิงแสงที่เพิ่ม

ถ้าแผ่นหนา t ทางเดินเดิมในอากาศยาวเชิงแสง t เมื่อใส่แผ่นจะเป็น nt จึงเพิ่ม $(n-1)t$

2. หนึ่งช่วงแถบเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น

แถบเลื่อนไป 5 ช่วง จึงเพิ่มทางเดินเชิงแสง 5λ

$$(n-1)t = 5\lambda,$$
$$t = \frac{5(600\,\text{nm})}{1.50-1} = 6000\,\text{nm} = 6.0\,\mu\text{m}.$$

ตอบ ง. $6.0\,\mu$m

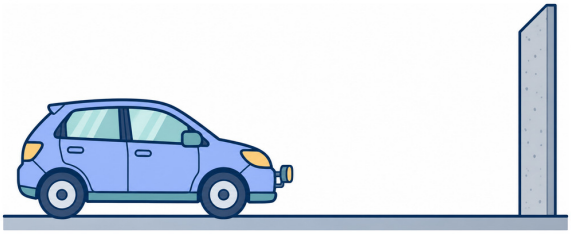
จุดที่ควรระวัง ใช้ $n-1$ เพราะแผ่นเข้าไปแทนระยะในอากาศที่แสงต้องเดินอยู่แล้ว

ข้อ 14

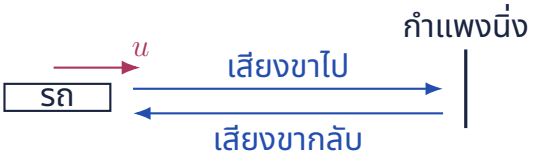
เสียงสะท้อนมีดอปเพลอร์สองรอบ

รถวิ่งเข้าหากำแพงด้วย $u = v/10$ ส่งเสียงความถี่ f และรับเสียงสะท้อนเอง

ขาไปคลื่นถูกอัด	→	สะท้อนที่ผนังนิ่ง	→	รถสวนหน้าคลื่น
$\lambda = (v-u)/f$		$\lambda_{\text{reflected}} = \lambda$		$f_{\text{car}} = (v+u)/\lambda$



ภาพสถานการณ์



แผนภาพสำหรับวิธีทำ

เริ่มคิดจากตรงไหน

ตามลูกศรในรูป ขาไปให้ดูระยะระหว่างหน้าคลื่น รถปล่อยคลื่นสองยอดห่างกันเวลา $1/f$ ในช่วงนี้ยอดแรกไปได้ v/f แต่รถก็ขยับไปแล้ว u/f จึงเหลือระยะห่าง $(v-u)/f$ พอสะท้อนที่กำแพงนิ่ง ระยะระหว่างยอดคลื่นยังเท่าเดิม แต่รถกำลังวิ่งเข้าหายอดคลื่นขากลับด้วยความเร็วสัมพัทธ์ $v+u$ จึงเอาความเร็วนี้หารด้วยระยะห่างของยอดคลื่นเพื่อหาความถี่

1. ขาไป รถเป็นแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่

กำแพงอยู่นิ่ง แต่หน้าคลื่นถูกอัดให้ชิดกัน กำแพงจึงรับความถี่สูงขึ้น

$$\lambda_{\text{wall}} = \frac{v-u}{f}, \qquad f_{\text{wall}} = \frac{v}{\lambda_{\text{wall}}} = f\frac{v}{v-u}.$$

2. ขากลับ รถเป็นผู้สังเกตเคลื่อนที่

กำแพงสะท้อนคลื่นด้วยความถี่เดิมในกรอบของกำแพง รถวิ่งสวนคลื่นจึงพบหน้าคลื่นถี่ขึ้นอีกครั้ง

$$f_{\text{car}} = \frac{v+u}{\lambda_{\text{wall}}} = f_{\text{wall}}\frac{v+u}{v} = f\frac{v+u}{v-u} = f\frac{1.1}{0.9} = \frac{11f}{9}.$$

ตอบ ก. $11f/9$

ข้อ 15

รัศมีเท่ากัน แต่เวลาไม่เท่ากัน

โปรตอน (m, e) และแอลฟา $(4m, 2e)$ มีพลังงานจลน์เท่ากัน วิ่งตั้งฉากกับสนามเดียวกันจนครึ่งวง

สนามทำให้เลี้ยว	→	พลังงานเท่ากัน	→	นับเวลาครึ่งรอบ
$qvB = mv^2/r$		$p = \sqrt{2mK}$		$t = \pi r/v$

เริ่มคิดจากตรงไหน

แรงแม่เหล็กตั้งฉากกับความเร็ว จึงเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่และทำให้วิถีโค้ง แรงนี้ไม่เปลี่ยนพลังงานจลน์ ใช้ขนาดแรงเป็นแรงสู่ศูนย์กลางเพื่อหารัศมี ส่วนเวลาครึ่งวงให้ดูทั้งระยะ πr และความเร็วของอนุภาค

1. เปรียบเทียบรัศมีโดยใช้พลังงานเท่ากัน

แรงแม่เหล็กทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง $qvB = mv^2/r$ ส่วน $mv = \sqrt{2mK}$

$$r = \frac{\sqrt{2mK}}{qB} \quad \Longrightarrow \quad \frac{r_\alpha}{r_p} = \frac{\sqrt{4}}{2} = 1.$$

2. ใช้ระยะครึ่งวงหารด้วยอัตราเร็ว

จาก $r = mv/(qB)$ ความเร็วตัดกันพอดี

$$t_{1/2} = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{qB} \quad \Longrightarrow \quad \frac{t_\alpha}{t_p} = \frac{4}{2} = 2.$$

ตอบ ก. อัตราส่วนรัศมีและเวลาเท่ากับ $1, 2$

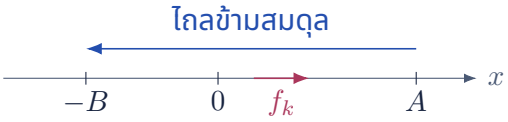
จุดที่ควรระวัง อีกวิธีคือดูจากพลังงานจลน์เท่ากัน แอลฟาหนักสี่เท่าจึงเร็วครึ่งเดียว เมื่อวิ่งระยะเท่ากันย่อมใช้เวลาสองเท่า

ข้อ 16

แรงเสียดทานลดระยะวกกลับ

ปล่อยมวลจากสปริงยืด A บนพื้นหยาบ กำหนด $c = \mu mg/k$ ให้หาตำแหน่งวกกลับครั้งที่สอง

เริ่มที่ระยะยืด	→	วกกลับด้านอัด	→	ทางที่แรงเสียดทานทำงาน
$x = A,\ v = 0$		$x = -B,\ v = 0$		$s = A + B$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ที่จุดวกกลับ วัตถุหยุดชั่วขณะทั้งก่อนเริ่มช่วงและตอนจบช่วง จึงเทียบพลังงานสปริงล้วน ๆ ได้ งานที่แรงเสียดทานดึงพลังงานออกมีขนาด f_k คูณระยะที่ไถล พลังงานสปริงขึ้นกับระยะจากสมดุลยกกำลังสอง แต่ระยะที่ไถลต้องนับทางข้ามสมดุลด้วย

1. จากจุดปล่อยไปจุดวกกลับอีกด้าน

ให้ B เป็นขนาดระยะอัดที่จุดวกกลับครั้งแรก วัตถุเดินทาง $A + B$ ที่ปลายทั้งสองความเร็วเป็นศูนย์ งานแรงเสียดทานจึงอธิบายพลังงานสปริงที่หายไป

$$\begin{aligned} \tfrac{1}{2}k(A^2 - B^2) &= \mu mg(A + B), \\ \tfrac{1}{2}k(A - B)(A + B) &= \mu mg(A + B), \\ A - B &= 2\mu mg/k = 2c. \end{aligned}$$

2. กลับมาอีกครึ่งรอบ

เหตุผลเดิมใช้ได้เมื่อต้นทางเป็นระยะอัด B และปลายทางเป็นระยะยืด D จึงได้ $B - D = 2c$

$$D = B - 2c = (A - 2c) - 2c = A - 4c.$$

ตอบ ก. $A - 4c$

จุดที่ควรระวัง งานแรงเสียดทานใช้ระยะเดินทาง $A + B$ ส่วนผลต่างขนาดระยะยืดกับระยะอัดคือ $A - B$

ข้อ 17

อุปกรณ์ไม่โอห์มมิก

อุปกรณ์มีแรงดัน $V_D = \alpha I^2$ ต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน $1\,\Omega$ และแหล่งจ่าย 6 V

เส้นทางเดียว	→	แยกแรงดันสองชิ้น	→	ดูเฉพาะกำลังอุปกรณ์
$I_R = I_D$		$IR + \alpha I^2 = \mathcal{E}$		$P_D = IV_D$

เริ่มคิดจากตรงไหน

ต่ออนุกรมหมายถึงมีเส้นทางเดียว ประจุไหลผ่านทั้งสองชิ้นด้วยอัตราเดียวกัน แหล่งจ่ายให้พลังงานต่อหนึ่งคูลอมบ์ แล้วแต่ละชิ้นรับไปตามแรงดันคร่อมของตัวเอง ตัวต้านทานใช้ IR แต่อุปกรณ์อีกชิ้นต้องใช้ความสัมพันธ์ที่โจทย์ให้มา

---

1. เขียนผลรวมแรงดันรอบวงจร

กระแสเท่ากันทั้งสองชิ้น แต่แรงดันของอุปกรณ์ใช้กฎที่โจทย์ให้ สำหรับตัวเลข I ในหน่วยแอมแปร์ได้

$$\begin{aligned} 6 &= I^2 + I, \\ 0 &= (I-2)(I+3) \quad \Longrightarrow \quad I = 2\,\text{A}. \end{aligned}$$

โจทย์กำหนดทิศให้ $I \geq 0$ จึงเลือกรากบวก

---

2. คิดกำลังเฉพาะที่อุปกรณ์

แรงดันของอุปกรณ์คือ $V_D = (1)(2^2) = 4\,\text{V}$ ดังนั้น $P_D = V_D I = (4)(2) = 8\,\text{W}$

ตอบ ง. $8\,\text{W}$

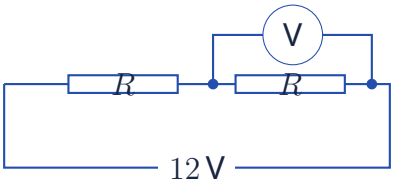
จุดที่ควรระวัง แหล่งจ่ายส่ง $6 \times 2 = 12\,\text{W}$ อีก 4 W ไปที่ตัวต้านทาน

ข้อ 18

โวลต์มิเตอร์เปลี่ยนวงจร

ตัวต้านทาน R สองตัวต่ออนุกรมกับ 12 V นำมิเตอร์ที่มีความต้านทาน R ไปคร่อมหนึ่งตัว

จับจุดต่อคู่เดียวกัน $V_m = V_R$ → **รวมทางขนาน** $R \parallel R$ → **แบ่งแรงดันใหม่** $V_m = IR_{\text{branch}}$



เริ่มคิดจากตรงไหน

โวลต์มิเตอร์จริงเป็นทางให้กระแสไหลได้ เพราะมีความต้านทานจำกัด ดูในรูปว่ามิเตอร์กับตัวต้านทานด้านขวาใช้จุดต่อคู่เดียวกัน จึงมีแรงดันคร่อมเท่ากันและกระแสแยกไปคนละทาง ต้องรวมสองทางนี้ก่อนแบ่งแรงดันระหว่างด้านซ้ายกับด้านขวา

1. รวมแขนงที่ถูกคร่อม

ตัวต้านทานกับมิเตอร์ใช้จุดต่อคู่เดียวกัน จึงขนานกันและเหลือ $R_{\text{branch}} = R/2$

2. ใช้การแบ่งแรงดันกับวงจรที่ต่อมิเตอร์แล้ว

$R/2$ อยู่อนุกรมกับ R ตัวที่ไม่ได้ถูกคร่อม แรงดันที่มิเตอร์อ่านคือแรงดันของทั้งแขนง

$$V_m = 12\frac{R/2}{R + R/2} = 12\left(\frac{1}{3}\right) = 4\,\text{V}.$$

ตอบ ข. $4\,\text{V}$

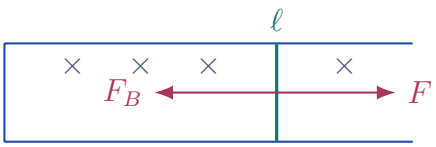
จุดที่ควรระวัง ค่า 6 V เป็นแรงดันก่อนต่อมิเตอร์ หรือใช้ได้โดยประมาณเมื่อมิเตอร์มีความต้านทานสูงมาก

ข้อ 19

ความเร็วปลายของแท่งตัวนำ

ลากแท่งยาว ℓ บนรางลื่นด้วยแรง F ในสนามตั้งฉาก B เพิ่มความต้านทานจาก R เป็น $2R$

ลากให้พื้นที่เพิ่ม	→	ได้กระแสเหนี่ยวนำ	→	ถึงความเร็วปลาย
$dA/dt = \ell v$		$I = B\ell v/R$		$F = BI\ell$



เริ่มคิดจากตรงไหน

พอแท่งเคลื่อน พื้นที่วงจรเพิ่มด้วยอัตรา ℓv ฟลักซ์ผ่านวงจรจึงเปลี่ยนด้วยอัตรา $B\ell v$ เกิดกระแสและแรงแม่เหล็กที่ต้านการลาก ที่ความเร็วปลายลูกศรแรงซ้ายขวาในรูปสมดุลกัน ดังนั้นหากระแสปลายจากแรงได้ก่อน แล้วค่อยหาว่าต้องเคลื่อนเร็วเท่าไรจึงสร้างกระแสนั้นได้

1. ที่ความเร็วปลาย แรงแนวรางสมดุล

แรงแม่เหล็กต้านการลาก ขนาด $F_B = BI\ell$ เมื่อความเร็วคงที่

$$F = BI_{\text{term}}\ell \quad \Longrightarrow \quad I_{\text{term}} = \frac{F}{B\ell}.$$

2. หาอัตราเร็วที่สร้างกระแสค่านี้ได้

$\mathcal{E} = B\ell v$ และ $I = \mathcal{E}/R$ จึงได้

$$v_{\text{term}} = \frac{I_{\text{term}}R}{B\ell} = \frac{FR}{B^2\ell^2}.$$

ตอบ ก. ความเร็วปลายสองเท่า กระแสปลายเท่าเดิม

จุดที่ควรระวัง ตอนเปลี่ยน R กระแสระหว่างเปลี่ยนผ่านอาจต่างไป แต่ค่าที่ถามคือหลังถึงอัตราเร็วปลายใหม่แล้ว

ข้อ 20

แตะทรงกลมทีละคู่

ทรงกลมเหมือนกัน A, B, C เริ่มด้วย $Q, 0, 0$ แตะตามลำดับ AB, BC และ CA แล้วแยกทุกครั้ง

แตะคู่แรก	→	แยกแล้วแตะคู่สอง	→	จบที่คู่สุดท้าย
$A \leftrightarrow B$		$B \leftrightarrow C$		$C \leftrightarrow A$

เริ่มคิดจากตรงไหน

พอเอาตัวนำมาแตะกัน ประจุไหลจนศักย์ของสองลูกเท่ากัน ลูกมีขนาดและสภาพเหมือนกันตามโจทย์จึงแบ่งประจุรวมเท่า ๆ กันในแบบจำลองนี้ หลังแยกออก ประจุที่แต่ละลูกถืออยู่จะเป็นค่าตั้งต้นของการแตะรอบต่อไป

1. ใช้กติกาเดียวกันทุกครั้ง

ทรงกลมเหมือนกัน เมื่อแตะกันจนสมดุล ประจุรวมของสองลูกแบ่งเท่ากัน ลูกที่อยู่นอกคู่นั้นเก็บประจุเดิม

หลังแตะ	A	B	C
เริ่มต้น	Q	0	0
A กับ B	$Q/2$	$Q/2$	0
B กับ C	$Q/2$	$Q/4$	$Q/4$
C กับ A	$3Q/8$	$Q/4$	$3Q/8$

2. ดูเฉพาะการแตะครั้งสุดท้าย

ก่อนแตะ A และ C มีประจุรวม $Q/2 + Q/4 = 3Q/4$ พอแบ่งครึ่ง A จึงได้ $3Q/8$

ตอบ ข. $3Q/8$

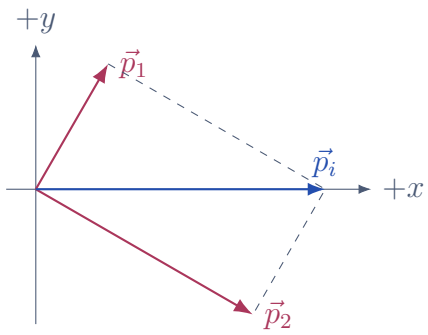
จุดที่ควรระวัง รวมประจุทั้งสามลูกได้ $3Q/8 + Q/4 + 3Q/8 = Q$ พอดี

ข้อ 21

การชนเฉียงสองมิติ

มวล m วิ่งไปทาง $+x$ ด้วย v ชนมวล $2m$ ที่หยุดนิ่ง หลังชนมวลแรกวิ่งด้วย $v/2$ ทำมุม 60° เหนือแกน x

ก่อนชนไปแกนเดียว	→	เติมลูกศรของก้อนสอง	→	แปลงขนาดเป็นพลังงาน
$\vec{p}_i = (mv, 0)$		$\vec{p}_2 = \vec{p}_i - \vec{p}_1$		$K = p^2/(2m)$



เริ่มคิดจากตรงไหน

ช่วงสั้น ๆ ที่ชนกัน แรงจากสองก้อนกระทำต่อกันและหักล้างเมื่อมองระบบรวม ถ้าแรงดลภายนอกละเลยได้ ผลรวมโมเมนตัมจึงคงเดิมทั้งสองแกน ในรูป ลูกศรของก้อนที่สองคือส่วนที่ต้องเติมให้ผลรวมยังเท่ากับลูกศรก่อนชน หลังจากได้ขนาดโมเมนตัมของแต่ละก้อนจึงค่อยแปลงเป็นพลังงานจลน์

1. ใช้โมเมนตัมแยกแกน

แกน y ก่อนชนมีโมเมนตัมเป็นศูนย์ ถ้ามวลแรกขึ้น มวลที่สองจึงต้องมีองค์ประกอบลง

$$\begin{aligned}
\vec{p}_1 &= mv(1/4, \sqrt{3}/4),\\
\vec{p}_2 &= (mv, 0) - \vec{p}_1 = mv(3/4, -\sqrt{3}/4),\\
p_2^2 &= m^2v^2(9/16 + 3/16) = \tfrac{3}{4}m^2v^2.
\end{aligned}$$

2. แปลงโมเมนตัมเป็นพลังงานจลน์

$K_1/K_i = 1/4$ เพราะอัตราเร็วของตัวแรกเหลือครึ่งเดียว และ $K_2 = p_2^2/(4m)$

$$\frac{K_2}{K_i} = \frac{(3/16)mv^2}{(1/2)mv^2} = \frac{3}{8}, \qquad \frac{K_{\text{lost}}}{K_i} = 1 - \frac{1}{4} - \frac{3}{8} = \frac{3}{8}.$$

ตอบ ค. พลังงานจลน์สูญเสีย $3/8$ ของเดิม

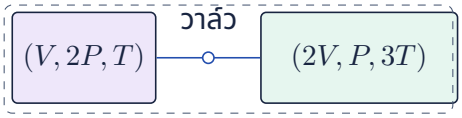
จุดที่ควรระวัง โมเมนตัมเป็นเวกเตอร์ แต่พลังงานจลน์เป็นสเกลาร์

ข้อ 22

เปิดวาล์วเชื่อมถังแข็ง

สองถังมี $(V, 2P, T)$ และ $(2V, P, 3T)$ ฉนวนและไม่มีงานกับภายนอก

นับจำนวนโมล $n_i = P_iV_i/(RT_i)$ → **พลังงานรวมเท่าเดิม** $U_i = U_f$ → **ใช้ปริมาตรรวม** $V_f = 3V$



เริ่มคิดจากตรงไหน

เลือกแก๊สทั้งสองถังเป็นระบบเดียว พลังงานไหลจากถังหนึ่งไปอีกถังได้ แต่ไม่ออกไปภายนอกผ่านฉนวน และผนังแข็งไม่ขยับจึงไม่มีงานขยายตัว พลังงานภายในรวมคงเดิม อุณหภูมิที่ได้จึงต้องถ่วงด้วยจำนวนโมล เพราะแก๊สที่มีโมลมากเก็บพลังงานมากกว่าที่อุณหภูมิเท่ากัน

1. หาโมลก่อนเอาอุณหภูมิมาเฉลี่ย

จาก $PV = nRT$ ได้ $n_1 = 2PV/(RT)$ และ $n_2 = 2PV/(3RT) = n_1/3$

2. ใช้พลังงานภายในรวมคงที่

ไม่มีความร้อนและงานข้ามขอบระบบ สำหรับแก๊สอะตอมเดี่ยว $U = \frac{3}{2}nRT$ ตัวคูณร่วมจึงตัดกัน

$$(n_1 + n_2)T_f = n_1T + n_2(3T),$$
$$T_f = \frac{n_1T + (n_1/3)(3T)}{4n_1/3} = \frac{3}{2}T.$$

3. ใช้ปริมาตรรวม $3V$

แทนค่าในสมการแก๊สของสภาวะสุดท้าย

$$P_f = \frac{(4n_1/3)R(3T/2)}{3V} = \frac{4}{3}P.$$

ตอบ ง. $T_f = 3T/2$ **และ** $P_f = 4P/3$

จุดที่ควรระวัง อุณหภูมิสุดท้ายอยู่ใกล้ T มากกว่า $3T$ เพราะถังที่เย็นกว่ามีจำนวนโมลมากกว่า

ข้อ 23

แก๊สขยายตัวแบบอะเดียแบติก

แก๊สอะตอมเดี่ยวขยายช้าในฉนวนจาก V_0, T_0 ถึง $8V_0$

ขยายในฉนวน	→	แก๊สออกแรงทำงาน	→	แปลงอุณหภูมิเป็นอัตราเร็ว
$Q = 0$		$W = -\Delta U$		$v_{\text{rms}} \propto \sqrt{T}$

เริ่มคิดจากตรงไหน

เมื่อแก๊สดันขอบเขตให้ขยาย มันส่งพลังงานออกไปในรูปงาน ฉนวนกั้นการถ่ายเทความร้อน พลังงานที่ใช้ทำงานจึงมาจากพลังงานภายในของแก๊ส สำหรับแก๊สอุดมคติ พลังงานภายในลดแปลว่าอุณหภูมิลด และจาก $\frac{1}{2}mv_{\text{rms}}^2 = \frac{3}{2}k_BT$ โมเลกุลจึงเคลื่อนช้าลงด้วย

1. หาอุณหภูมิหลังขยาย

ความสัมพันธ์ที่โจทย์ให้คือ $TV^{2/3}$ คงที่

$$T_f = T_0\left(\frac{V_0}{8V_0}\right)^{2/3} = \frac{T_0}{4}.$$

2. เทียบอัตราเร็วของโมเลกุล

v_{rms} แปรตาม $\sqrt{T}$ เมื่อมวลโมเลกุลคงเดิม จึงเหลือ $\sqrt{1/4} = 1/2$

3. พลังงานที่ลดลงกลายเป็นงาน

ใช้ $\Delta U = Q - W$ โดย W เป็นงานที่แก๊สทำและ $Q = 0$

$$W = -\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_0 - T_0/4) = \frac{9}{8}nRT_0.$$

ตอบ ค. $v_{\text{rms,f}}/v_{\text{rms,i}} = 1/2$ **และ** $W = 9nRT_0/8$

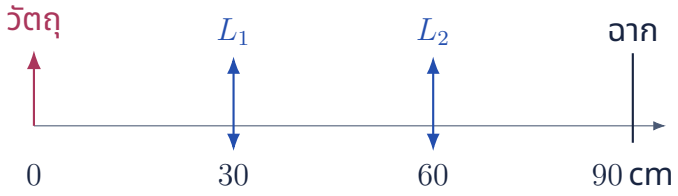
จุดที่ควรระวัง ฉนวนแปลว่าไม่มีความร้อนไหลผ่าน แก๊สยังเสียพลังงานได้ด้วยการทำงานตอนขยายตัว

ข้อ 24

สองตำแหน่งเลนส์ที่ให้ภาพชัด

วัตถุและฉากห่างกัน 90 cm ตำแหน่งเลนส์นูนสองตำแหน่งที่ให้ภาพชัดห่างกัน 30 cm

ระยะรวมถูกล็อก	→	ตำแหน่งภาพชัดสลับกัน	→	อ่านระยะเลื่อน
$u+v=90$ cm		$(u,v)\leftrightarrow(v,u)$		$\lvert v-u\rvert=30$ cm



เริ่มคิดจากตรงไหน

เลนส์เลื่อนได้ แต่ระยะจากวัตถุไปฉากยังเท่าเดิม จึงมี $u+v=D$ ทุกครั้งที่ได้ภาพชัด อีกด้านหนึ่งสมการเลนส์เขียนได้ว่า $uv=fD$ ดังนั้นระยะทั้งคู่มีทั้งผลบวกและผลคูณเดิม ตำแหน่งภาพชัดอีกตำแหน่งจึงเกิดจากการสลับ u กับ v และระยะเลื่อนเท่ากับผลต่างของสองระยะนี้

1. ใช้ความสมมาตรของสมการเลนส์

สมการ $1/f=1/u+1/v$ ไม่เปลี่ยนเมื่อสลับ u,v ตำแหน่งที่สองจึงสลับระยะวัตถุกับระยะภาพ และ $\lvert v-u\rvert=30$ cm

$$u+v=90,\qquad v-u=30,$$
$$u=30\,\text{cm},\qquad v=60\,\text{cm}.$$

2. แทนในสมการเลนส์

สำหรับภาพจริงบนฉากใช้ระยะทั้งสองเป็นบวก

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{30}+\frac{1}{60}=\frac{1}{20}\,\text{cm}^{-1}.$$

ตอบ ข. $f=20$ cm

ข้อ 25

พัลส์จากเชือกเบาไปเชือกหนัก

เชือกมีความหนาแน่นเชิงเส้น μ และ 4μ ภายใต้แรงตึงเดียวกัน

เชือกหนักทำให้ช้าลง	→	ความถี่ส่งต่อเท่าเดิม	→	ดูพัลส์สะท้อน
$v = \sqrt{F_T/\mu}$		$\lambda = v/f$		$Z_2 > Z_1$

เริ่มคิดจากตรงไหน

เชือกที่หนักกว่าต่อหนึ่งเมตรตอบสนองต่อแรงตึงได้ช้ากว่า คลื่นจึงเดินทางได้ระยะสั้นลงในหนึ่งคาบ ส่วนการสะท้อนให้มองรอยต่อว่าเชือกหนักขยับตามยอดที่เข้ามาได้ยาก การตอบสนองคล้ายปลายตรึงบางส่วน จึงส่งพัลส์สะท้อนกลับมาโดยกลับด้าน

1. หาว่าคลื่นเคลื่อนช้าลงแค่ไหน

เขียน F_T เป็นแรงตึง จะได้ $v = \sqrt{F_T/\mu}$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\mu}{4\mu}} = \frac{1}{2}.$$

2. ความถี่ไม่เปลี่ยนเมื่อผ่านรอยต่อ

รอยต่อรับและส่งการสั่นด้วยความถี่เดียวกัน จาก $\lambda = v/f$ จึงได้ $\lambda_2/\lambda_1 = 1/2$

3. ดูทิศของการสะท้อน

เชือกด้านหนักมีอิมพีแดนซ์คลื่น $Z = F_T/v$ สูงกว่า เมื่อคลื่นวิ่งจาก Z_1 ต่ำไป Z_2 สูง สัมประสิทธิ์สะท้อนของการกระจัด $(Z_1 - Z_2)/(Z_1 + Z_2)$ เป็นลบ ยอดพัลส์จึงสะท้อนกลับมาเป็นท้องพัลส์

ตอบ ข. ความยาวคลื่นส่งผ่านเหลือ $1/2$ และพัลส์สะท้อนกลับเฟส

จุดที่ควรระวัง การกลับเฟสในข้อนี้พูดถึงพัลส์สะท้อน ส่วนอัตราส่วนความยาวคลื่นพูดถึงคลื่นที่ส่งผ่าน