



ข้อสอบภาคทฤษฎี

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 9

The Ninth Thailand Physics Olympiad

ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันจันทร์ที่ 3 ถึงวันศุกร์ที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2553

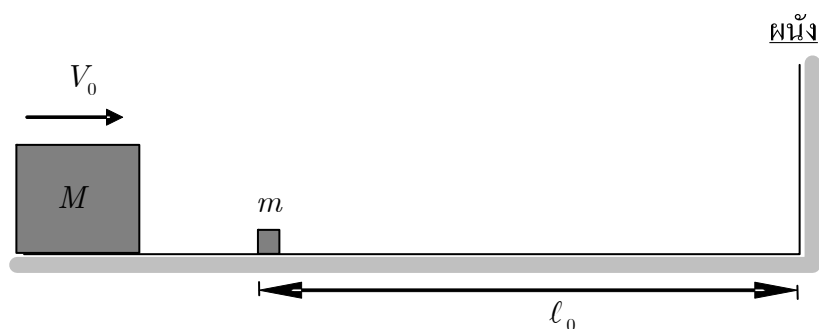
คำแนะนำ

1. ให้เวลาทำข้อสอบ 4 ชั่วโมง
2. ใช้ปากกาสีน้ำเงินหรือสีดำเท่านั้น
3. ใช้เฉพาะด้านหน้ากระดาษเขียนตอบภายในกรอบที่กำหนดให้เท่านั้น
4. เขียนทุกสิ่งที่คุณคิดว่าจำเป็นในการแสดงวิธีทำและต้องการให้ตรวจลงบนกระดาษเขียนตอบและในการตอบคำถามที่เป็นตัวเลขต้องตอบให้มีจำนวนเลขน้อยสำคัญที่สุดสอดคล้องกับข้อมูลที่ให้มาพร้อมหน่วย
5. ต้องใส่หมายเลขประจำตัวนักเรียนในช่องที่หัวกระดาษคำตอบทุกแผ่นที่ใช้ นอกจากนั้นบนกระดาษที่ใช้สำหรับคำถามแต่ละข้อให้เขียนเลขข้อคำถามและส่วนของข้อที่กำลังตอบและเลขหน้าที่ด้านบนกระดาษคำตอบแต่ละแผ่นที่ใช้ทุกแผ่นให้ชัดเจน ถ้าแผ่นใดใช้หมดหรือไม่ต้องการให้ตรวจให้ขีดกากบาทตลอดหน้านั้นและไม่ต้องนับรวม
6. เมื่อทำเสร็จแล้วให้เขียนสรุปคำตอบลงในช่องว่างของกระดาษสรุปคำตอบ ตามด้วยกระดาษที่แสดงวิธีทำ กระดาษคำถาม กระดาษเปล่าที่เหลือไว้ว่างสุด เชื่อมกระดาษทั้งหมดเข้าด้วยกันและวางไว้บนโต๊ะสอบ

ห้ามนำกระดาษใด ๆ ออกนอกห้องสอบโดยเด็ดขาด

ข้อที่ 1

มวล M ไถลบนพื้นลื่นด้วยความเร็ว V_0 เข้าชนมวล m (โดยที่ $M > m$) ซึ่งหยุดนิ่งที่ระยะห่างจากผนังเท่ากับ ℓ_0 จากนั้นมวล m ไถลชนผนังและกลับมาชนมวล M ไป-มา หากการชนทั้งหมดเป็นแบบยืดหยุ่น



รูปข้อที่ 1 มวล M ไถลบนพื้นลื่นด้วยความเร็ว V_0 เข้าชนมวล m

โดยกำหนดให้

n = ลำดับครั้งที่เกิดการชน

v_n = อัตราเร็วของมวล m ระหว่างการชนครั้งที่ n กับ $n+1$

V_n = อัตราเร็วของมวล M ระหว่างการชนครั้งที่ n กับ $n+1$

t_n = ช่วงเวลาระหว่างการชนครั้งที่ n กับ $n+1$

ℓ_n = ระยะห่างจากผนังถึงจุดที่มวลทั้งสองชนกันครั้งที่ $n+1$

ในการคำนวณให้ถือว่ามวลทั้งสองเป็นมวลจุด (point mass)

1.1) จงหาอัตราเร็ว v_1 และ V_1 หลังการชนครั้งที่ 1 [2.0 คะแนน]

1.2) จงหาระยะ ℓ_1 ซึ่งเป็นตำแหน่งของการชนครั้งที่ 2 [2.0 คะแนน]

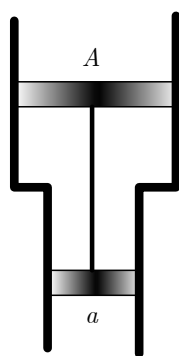
1.3) จงหา $\frac{\ell_{n+1}}{\ell_n}$ ในรูปของ 4 ตัวแปรต่อไปนี้ v_n, v_{n+1}, V_n และ V_{n+1} ให้ครบ [3.0 คะแนน]

1.4) ถ้ามวล M มากกว่ามวล m พอที่จะทำให้ความเร็วของมวล M ลดลงทีละน้อย มวล M จะเข้าไปใกล้ผนังที่สุดได้เท่าใด ให้ตอบในรูปของ ℓ_0, m และ M [3.0 คะแนน]

ข้อที่ 2

กระบอกสูบตั้งอยู่ในแนวดิ่ง ปลายทั้งสองด้านเป็นปลายเปิดที่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน ลูกสูบทั้งสองถูกเชื่อมด้วยก้านแข็งเกร็งดังรูป

กำหนดให้ ขณะเริ่มต้น ในกระบอกสูบบรรจุแก๊สฮีเลียมจำนวน 1 โมล ปริมาตร V_0 และลูกสูบไม่มีการเคลื่อนที่ อากาศภายนอกมีความดัน P_a พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบใหญ่เท่ากับ A และของลูกสูบเล็กเท่ากับ a มวลของลูกสูบทั้งสองรวมกันมีค่าเท่ากับ M และให้ถือว่าแก๊สระหว่างลูกสูบมีมวลน้อยมากเทียบกับ M บริเวณนี้อยู่ในสนามโน้มถ่วง g



รูปข้อที่ 2

2.1) จงหาความดันของแก๊สที่อยู่ระหว่างลูกสูบทั้งสองในภาวะสมดุล

(ให้ใช้สัญลักษณ์ P_0 สำหรับความดันนี้)

[1.5 คะแนน]

กรณีกระบอกสูบและลูกสูบนำความร้อนได้

2.2) อุณหภูมิภายในกระบอกสูบถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับ ΔT จงหาความดันภายในกระบอกสูบหลังจากที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และหาว่าลูกสูบจะเลื่อนขึ้นหรือลง เป็นระยะทางเท่าใด

[2.5 คะแนน]

กรณีกระบอกสูบและลูกสูบเป็นฉนวนความร้อน (คนละกรณีกับข้อ 2.2 ให้เริ่มคิดใหม่จากจุดสมดุล)

กดลูกสูบใหญ่ให้เลื่อนออกจากสมดุลเป็นระยะทางเล็กน้อยแล้วปล่อย

2.3) ในขณะที่ลูกสูบเลื่อนลงมาเป็นระยะทาง y จงหาขนาดและทิศของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อระบบลูกสูบทั้งสอง (ให้นักเรียนใช้การประมาณ $\frac{1}{(1+x)^n} \approx 1 - nx$ เมื่อ $x \ll 1$)

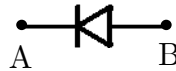
[4.0 คะแนน]

2.4) จงแสดงว่าลูกสูบทั้งสองเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และหาคาบการเคลื่อนที่

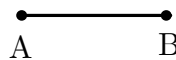
[2.0 คะแนน]

ข้อที่ 3

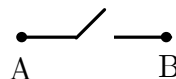
ไดโอดเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้เพียงทางเดียว โดยมีสัญลักษณ์ดังรูป



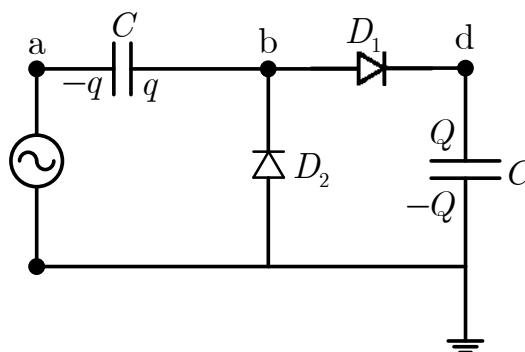
เมื่อ A และ B เป็นขั้วคร่อมไดโอด หากมีความพยายามของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านตัวไดโอดจากขั้ว B ไปยังขั้ว A แล้ว ไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้เสมือนกับการไหลผ่านเส้นตัวนำ ซึ่งจะส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อม A และ B มีค่าเท่ากัน ดังรูป เรียกสถานะนี้ว่า “ไดโอดเปิด”



ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีความพยายามของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านไดโอดจากขั้ว A ไปยังขั้ว B แล้ว ไดโอดจะไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านไปได้เสมือนกับการตัดการเชื่อมต่อระหว่างขั้วทั้งสองออกไป ซึ่งจะ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้ว B เป็นอิสระจากศักย์ไฟฟ้าที่ขั้ว A ดังรูป เรียกสถานะนี้ว่า “ไดโอดปิด”

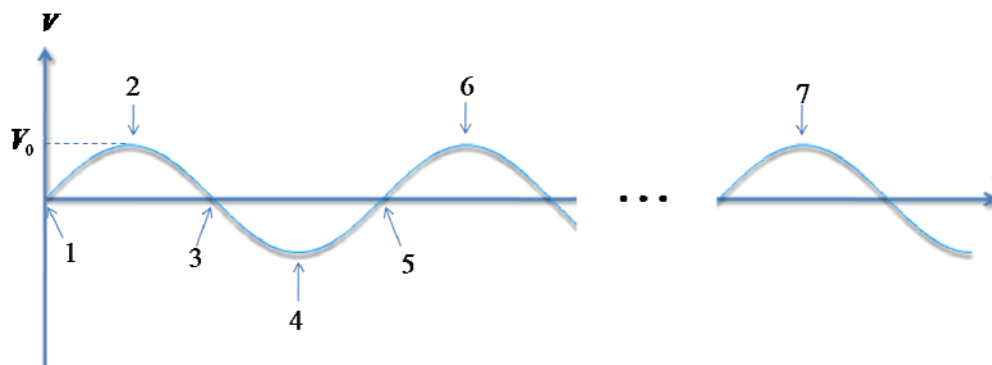


3.1) วงจรทวีแรงดันไฟฟ้า (voltage doubler) ประกอบด้วยตัวเก็บประจุสองตัวที่มีความจุไฟฟ้าเท่ากัน C และไดโอดสองตัวต่อกันเป็นวงจรดังรูปที่ 3.1 [5.0 คะแนน]



รูปที่ 3.1

ถ้าในตอนเริ่มต้นนั้นไม่มีประจุใดๆ บนตัวเก็บประจุทั้งคู่ และสัญญาณไฟฟ้าที่เข้ามาที่จุด a เป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีคาบ T และมีแอมพลิจูด V_0 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2

เมื่อเวลาผ่านไป จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a, b และ d รวมถึงประจุไฟฟ้า q และ Q ที่สะสมอยู่บนตัวเก็บประจุแต่ละตัว มีค่าเปลี่ยนไปดังแสดงในตาราง

จงพิจารณาความต่างศักย์คร่อมไดโอดทั้งคู่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา และส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ประจุไปสะสมบนตัวเก็บประจุทั้งสองตัว เพื่อหาค่าต่างๆ ที่กล่าวมานี้แล้วบันทึกค่าต่างๆ ลงในตาราง ที่เวลา ณ ตำแหน่งที่ 4, 5 และ 6

ตำแหน่ง	V_a (V)	V_b (V)	D_1 (เปิด/ปิด)	V_d (V)	D_2 (เปิด/ปิด)	q (C)	Q (C)
1 ($t = 0$)	0	0	ไม่ทราบ	0	ไม่ทราบ	0	0
2 ($t = \frac{T}{4}$)	V_0	$\frac{1}{2}V_0$	เปิด	$\frac{1}{2}V_0$	ปิด	$-\frac{1}{2}CV_0$	$\frac{1}{2}CV_0$
3 ($t = \frac{T}{2}$)	0	0	ปิด	$\frac{1}{2}V_0$	เปิด	0	$\frac{1}{2}CV_0$
4 ($t = \frac{3T}{4}$)	$-V_0$						
5 ($t = T$)	0						
6 ($t = \frac{5T}{4}$)	V_0						
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
7 ($t = \infty$)	V_0	$2V_0$	เปิด	$2V_0$	ปิด	CV_0	$2CV_0$

ตำแหน่งที่ 1

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a และ b เป็นศูนย์ และไม่มีประจุสะสมบนตัวเก็บประจุทั้งสอง

ตำแหน่งที่ 2

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a เป็น V_0 กระแสไหลผ่านไดโอดตัวบนในขณะที่ไดโอดตัวล่างอยู่ในสถานะตัดขาด ทำให้ประจุไปสะสมที่ตัวเก็บประจุทั้งคู่เท่ากันและแบ่งครึ่งความต่างศักย์

ตำแหน่งที่ 3

ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a เป็นศูนย์ ไดโอดตัวล่างอยู่ในสถานะเชื่อมต่อทำให้ประจุ q และศักย์ V_b เป็นศูนย์ แต่ไดโอดตัวบนอยู่ในสถานะตัดขาดทำให้ประจุ Q และศักย์ V_d ไม่เปลี่ยนแปลง

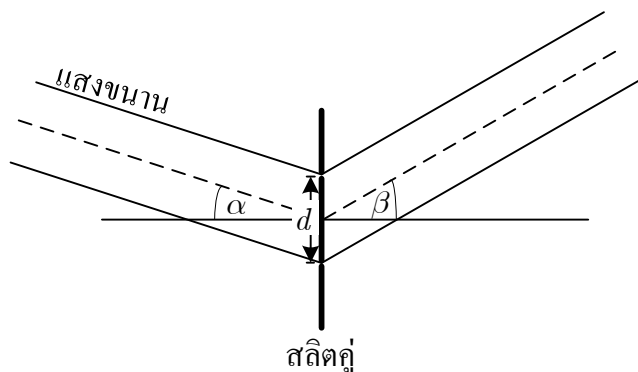
ตำแหน่งที่ 7

จะเห็นว่าประจุ Q จะไม่มีการถ่ายเทออก ดังนั้นที่เป็นไปได้ก็คือจะมีการสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ ในที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปนานพอ จะได้ผลดังตาราง

3.2)

3.2.1) แสงจากดาว A ที่อยู่ห่างไกล ประมาณได้ว่าเป็นแสงขนานความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนทำมุม α กับเส้นตั้งฉากของสลิตคู่ แล้วไปแทรกสอดแบบเสริมกันที่มุม β จงหา [2.0 คะแนน]

- ผลต่างของเส้นทางแสงในกรณีนี้
- เงื่อนไขสำหรับการแทรกสอดแบบเสริมและแบบหักล้างกัน
- มุม β สำหรับแถบสว่างอันดับที่ศูนย์





3.2.2) แสงจากดาว B ที่อยู่ห่างไกล ประมาณได้ว่าเป็นแสงขนานความยาวคลื่น λ ตกกระทบทำมุม $-\alpha$ กับเส้นตั้งฉากของสลิตคู่ แล้วไปแทรกสอดแบบเสริมกันที่มุม β จงหา [1.0 คะแนน]

- ก) ผลต่างของเส้นทางแสงในกรณีนี้
- ข) เงื่อนไขสำหรับการแทรกสอดแบบเสริมและแบบหักล้างกัน
- ค) มุม β สำหรับแถบสว่างอันดับที่ศูนย์

3.2.3) ดาวคู่ A และ B เปล่งแสงที่มีความสว่างใกล้เคียงกัน เมื่อสังเกตดาวคู่นี้บนโลกผ่านตัวกรองแสง ที่ให้ความยาวคลื่น λ ตกกระทบสลิตคู่ซึ่งห่างกันเป็นระยะ d และสลิตคู่นี้อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะไกลมาก จะเห็นริ้วของการแทรกสอดบนฉาก (ไม่ต้องคำนึงถึงการเลี้ยวเบน)

ดาวแต่ละดวงต่างให้ริ้วของการแทรกสอดผ่านสลิตคู่ และจะเหลื่อมกันอยู่บนฉาก พบว่าเมื่อระยะ d มีค่าน้อยๆ จะสามารถมองเห็นริ้วของการแทรกสอดที่เหลื่อมกันอยู่บนฉากได้ แต่เมื่อเพิ่มระยะ d ของสลิตคู่จนกระทั่งมีระยะเป็น d_0 ทำให้ริ้วของการแทรกสอดทั้งคู่เหลื่อมกันจนไม่สามารถสังเกตเห็นริ้วการแทรกสอดได้ แต่เมื่อเพิ่มระยะ d ต่อไปอีกจะทำให้มองเห็นริ้วอีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มระยะนี้อีกต่อไปจนมีระยะเป็น d_1 ริ้วของการแทรกสอดจะเหลื่อมกันจนหายไปอีกครั้ง ระยะห่าง d_0 และ d_1 นี้จะสามารถนำมาใช้ในการหาระยะห่างเชิงมุม (2α) ของดาวคู่นี้ได้

จงหาเงื่อนไขที่ทำให้ริ้วของการแทรกสอดโดยรวมหายไป เมื่อระยะห่างของสลิตคู่อยู่ห่างกัน d_0 และ d_1 แล้วหาว่าระยะห่างเชิงมุมระหว่างดาวทั้งสองที่สังเกตได้จากโลกมีค่าเป็นเท่าใด

[2.0 คะแนน]