



การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งที่ 25

ปี 1993

เมือง Beijing ประเทศ Peoples' Republic of China

ภาคทฤษฎี

ข้อ 1. อนุภาคสัมพัทธภาพ

ตามหลักการของทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษหรือเฉพาะกรณี (Special Theory of Relativity) เราเขียนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน E และโมเมนตัม p ของอนุภาคอิสระที่มีมวลนิ่ง (rest mass) สัมพัทธ์กับผู้สังเกตเป็น m_0 ได้ในรูป

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} = mc^2$$

เมื่อมีแรงอนุรักษณ์มากกระทำกับอนุภาค พลังงานรวมของอนุภาคซึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของ E และพลังงานศักย์มีค่าคงตัว ถ้าพลังงานรวมของอนุภาคมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานมวลที่อยู่กับที่คือ $m_0 c^2$ เราสามารถตัด $m_0 c^2$ ออกจากการคำนวณได้

1.1 ให้พิจารณาการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงของอนุภาคพลังงานสูง ($m_0 c^2$ มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานรวม) เมื่อมีแรงดึงดูดซึ่งมีสมมาตรเป็นทรงกลม และมีขนาดคงที่เท่ากับ f กระทำต่ออนุภาคที่ว่านี้ เมื่อเวลา $t = 0$ อนุภาคอยู่ที่จุดศูนย์กลางของแรงและมีโมเมนตัม p_0 ให้อภิปรายการเคลื่อนที่ของอนุภาคนี้โดยวิธีสเกตซ์กราฟของ p เป็นฟังก์ชันของพิกัด x และสเกตซ์ x เป็นฟังก์ชันของ t อย่างน้อยในช่วง 1 คาบของการเคลื่อนที่ และให้ระบุพิกัดของจุดวกกลับ (coordinates of turning points) ที่เขียนเป็นพิกัดของ p_0 และ f และให้ระบุทิศทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคในกราฟ $p-x$ ให้ชัดเจน

1.2 เมซอนเป็นอนุภาคประกอบด้วยควาร์กสองตัว มวลนิ่งของเมซอนคือ M มีค่าเท่ากับมวลนิ่งของควาร์กสองตัวหารด้วย c^2 ให้พิจารณาอนุภาคเมซอนที่อยู่นิ่ง ควาร์กสองตัวที่ประกอปกันเป็นเมซอนเคลื่อนที่ตามแนวแกน x และดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยแรงคงตัว f สมมติว่าควาร์กชนกันชนิดที่ผ่านซึ่งกันและกันได้โดยอิสระในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควาร์กพลังงานสูง เราจะถือว่ามวลนิ่งของควาร์กมีค่าต่ำจนเราไม่ต้องนำมาเข้าการคำนวณ เมื่อเวลา $t = 0$ ให้อภิปรายการเคลื่อนที่ของควาร์กทั้งสองด้วยวิธีสเกตซ์กราฟของ x เป็นฟังก์ชันของ t ประกอบและสเกตซ์กราฟของ p เป็นฟังก์ชันของ x



ให้ระบุจุดวกกลับของกราฟเหล่านี้เป็นค่าของ M และ f และให้ใช้ลูกศรแสดงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของกราฟ p vs x และให้คำนวณระยะทางสูงสุดระหว่างควาร์กสองตัวนี้

1.3 ให้เรียกกรอบอ้างอิงที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาในข้อ 1.2 เป็นกรอบ S เรียกกรอบอ้างอิงห้องทดลอง (Laboratory frame) เป็นกรอบอ้างอิง S' กรอบอ้างอิง S' เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x ในทิศทางที่เป็นค่าลบด้วยความเร็วคงที่ $0.6c$ ให้จุดกำเนิด (origin) ของกรอบ S' กับจุดกำเนิดของกรอบ S เมื่อเวลา $t = t' = 0$ ให้เขียนกราฟ x' เป็นฟังก์ชันของ y' แสดงการเคลื่อนที่ของควาร์กทั้งสอง พร้อมทั้งแสดงตำแหน่งของจุดวกกลับในรูปที่ประกอบด้วย M , f และ c แล้วคำนวณระยะทางสูงสุดระหว่างควาร์กทั้งสองที่ผู้สังเกตในกรอบอ้างอิง S' สังเกต

ในการแปลงลอเรนทซ์ (Lorentz' transformation) พิกัดของเวลาและการกระจัดในกรอบอ้างอิง S และกรอบอ้างอิง S' มีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$x' = \gamma(x + \beta ct)$$

$$t' = \gamma(t + \beta x/c)$$

ในที่นี้ $\beta = v/c$, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$

และ v คือความเร็วของกรอบอ้างอิง S สัมพัทธ์กับกรอบอ้างอิง S'

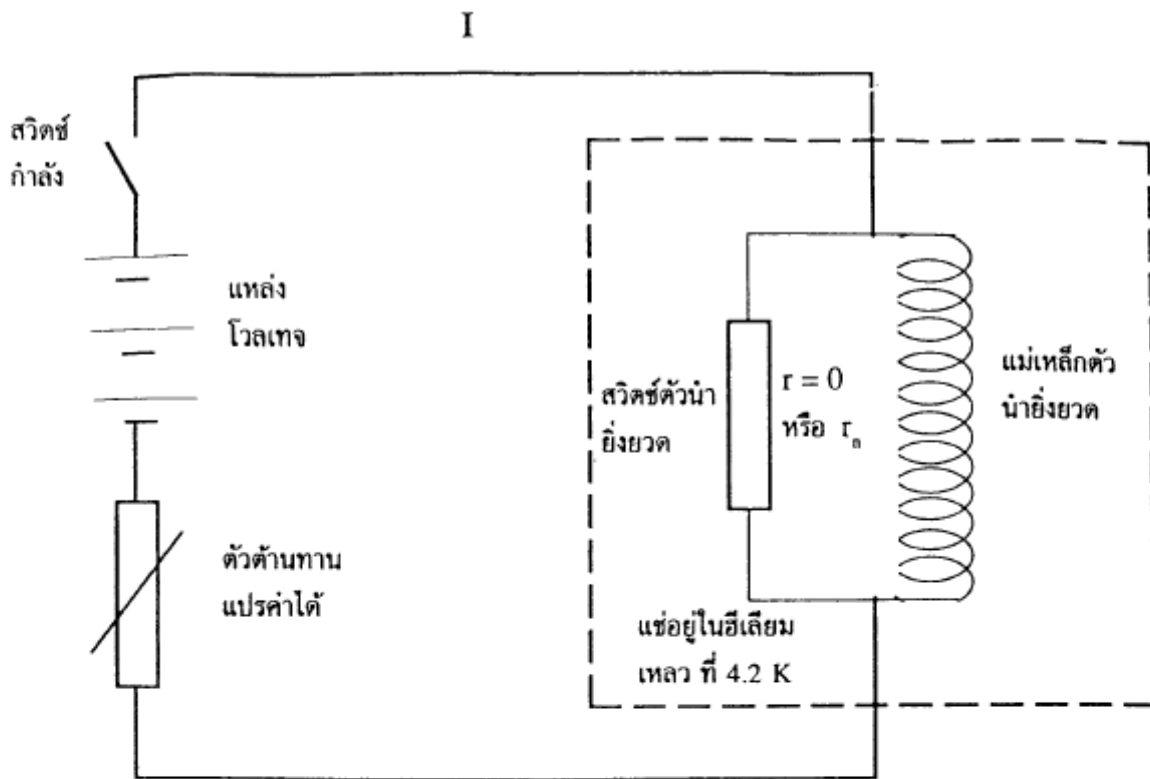
ให้คำนวณพลังงาน E' ในกรอบอ้างอิง S'

ข้อ 2 แม่เหล็กตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด

แม่เหล็กตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดมีใช้กันอย่างแพร่หลายในห้องปฏิบัติการ รูปแบบของแม่เหล็กที่พบปะกันทั่ว ๆ ไปเป็นแบบขดลวดโซลินอยด์ที่ทำด้วยลวดตัวนำยิ่งยวด แม่เหล็กตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดสามารถทำให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงได้ ด้วยเนื่องจากไม่มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนเพราะความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดตัวนำเป็นศูนย์เมื่อแม่เหล็กจุ่มอยู่ในฮีเลียมเหลวที่อุณหภูมิ 4.2 K การใช้แม่เหล็กตัวนำยิ่งยวดตามปกติธรรมดา เราจะต้องมีสวิตช์ตัวนำยิ่งยวด (superconducting switch) ใช้ประกอบด้วยดังที่แสดงในรูป 25.6

ความต้านทาน r ของสวิตช์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ คือมีค่า $r = 0$ เมื่อสวิตช์อยู่ในภาวะตัวนำยิ่งยวด และมีค่า $r = r_0$ เมื่อสวิตช์อยู่ในภาวะปกติ

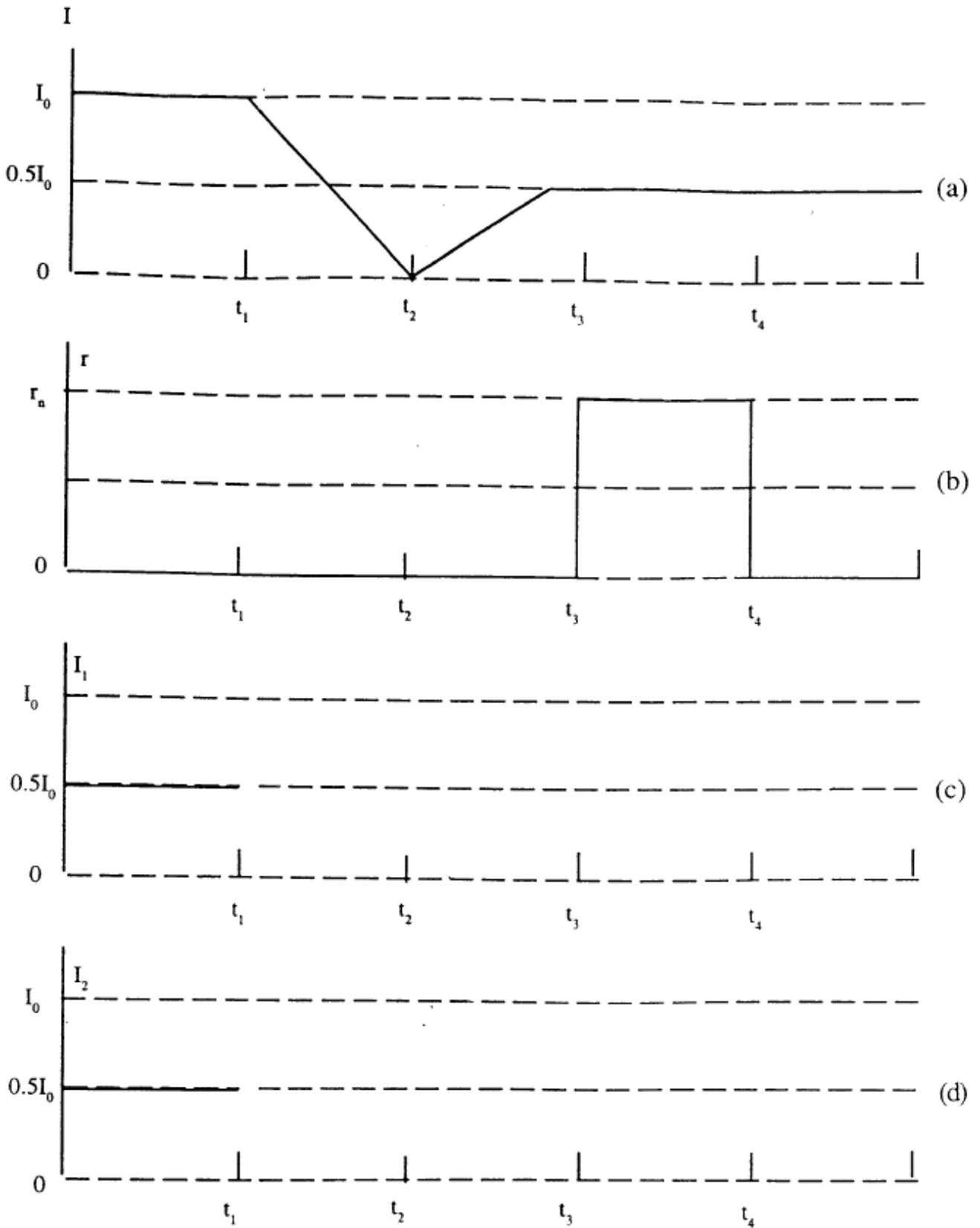
เมื่อความต้านทานอยู่ในภาวะตัวนำยิ่งยวด แม่เหล็กจะทำงานในภาวะที่เรียกว่า Persistent mode กล่าวคือกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านแม่เหล็กและสวิตช์ตัวนำยิ่งยวดเป็นวงปิดได้ตลอดไป การทำงานในภาวะ persistent mode ทำให้ขดลวดโซลินอยด์สร้างสนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอได้เป็นเวลานานโดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานภายนอกอีกเลย



รูป 25.6

รูปข้างบนมิได้แสดงรายละเอียดของสวิตช์ตัวนำยิ่งยวด ตามธรรมชาติสวิตช์ที่วานี้ทำด้วยลวดตัวนำยิ่งยวดและมีลวดให้ความร้อนหุ้มห่ออยู่ ลวดนี้ถูกฉนวนกันทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างถึงบรรจฮีเลียมเหลว เมื่อลวดได้รับความร้อน อุณหภูมิของลวดจะสูงขึ้นทำให้ลวดกลับภาวะเป็นลวดตัวนำธรรมดาความต้านทาน r ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 5Ω ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้ายิ่งยวดขึ้นอยู่กับขนาด ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 10 H ดังที่แสดงในรูปข้างบน กระแส I ทั้งหมดเปลี่ยนค่าได้โดยการปรับค่าความต้านทาน R

2.1 ถ้ากระแสทั้งหมด I และค่าความต้านทาน r ของสวิตช์ตัวนำยิ่งยวดมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังกราฟในรูป 25.7 a และ b ตามลำดับ และสมมติว่ากระแส I_1 และ I_2 ที่ไหลผ่านแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด และสวิตช์ตัวนำยิ่งยวดตามลำดับมีค่าเท่ากันเมื่อเริ่มทำการทดลองดังที่ปรากฏในรูป 25.7 c และ d ตามลำดับ อยากทราบว่ากระแส I_1 และ I_2 เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอย่างไรจากค่า $t = t_1$ ถึง $t = t_2$ ให้เขียนคำตอบลงไปในกราฟในรูป 25.7 c และ d

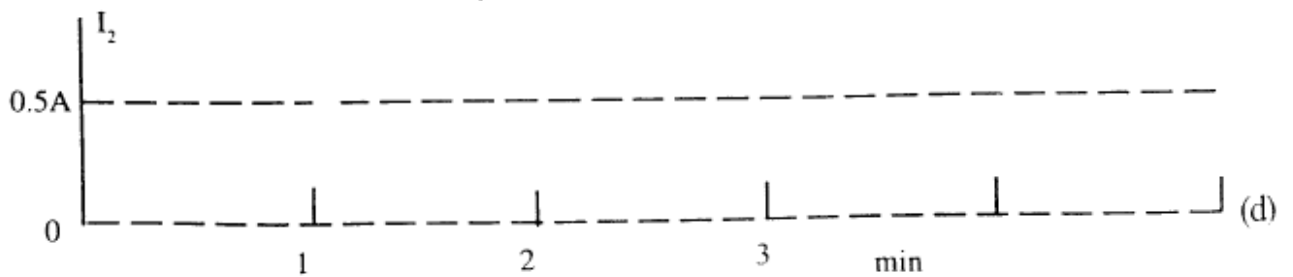
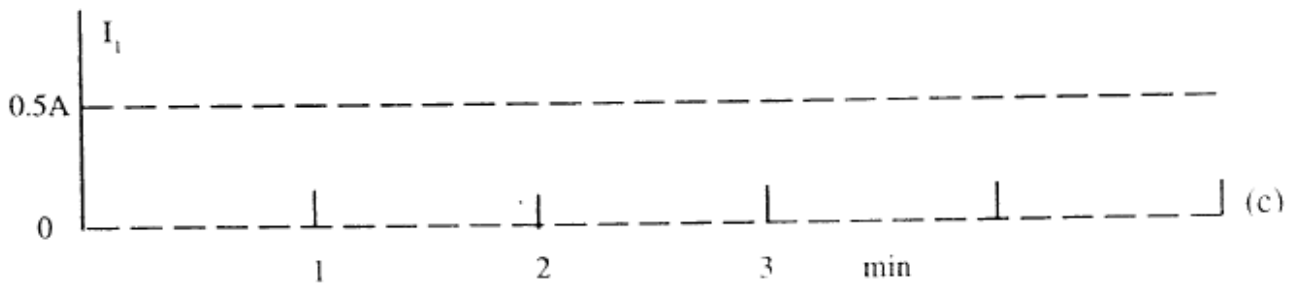
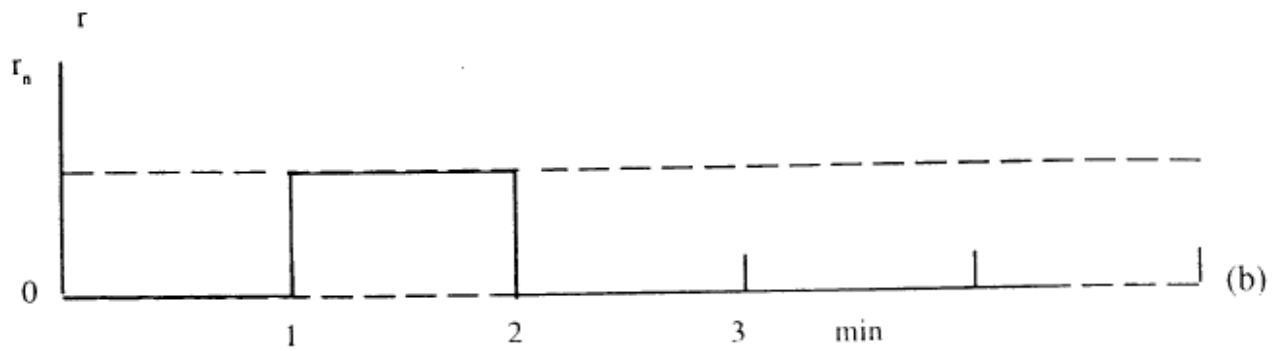
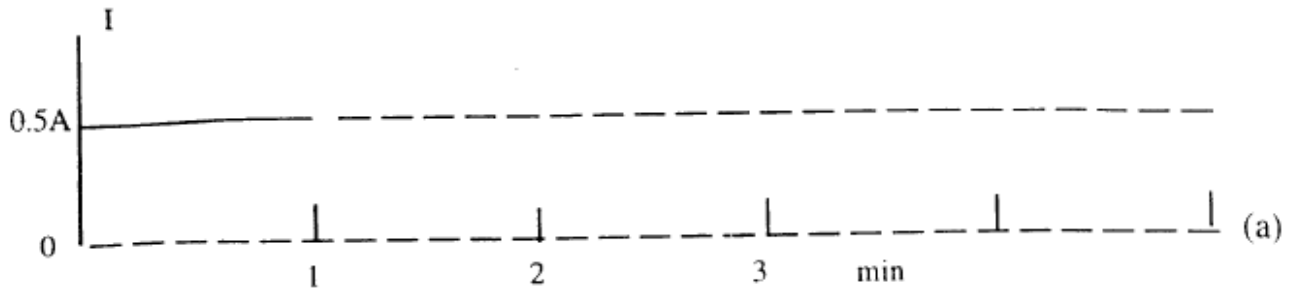


รูป 25.7

2.2 สมมติว่าสวิตช์ K ของแหล่งกระแสไฟฟ้าถูกสับให้มีกระแสไหลในวงจรที่เวลา $t = 0$ เมื่อ $r = 0$ และ $R = 7.5 \Omega$ หากกระแส I รวม = 0.5 A เมื่อสวิตช์ ยังอยู่ที่เดิม และความต้านทาน ของสวิตช์ตัวนำยิ่งยวดมีการเปลี่ยนแปลงดังกราฟในรูป 25.7 b



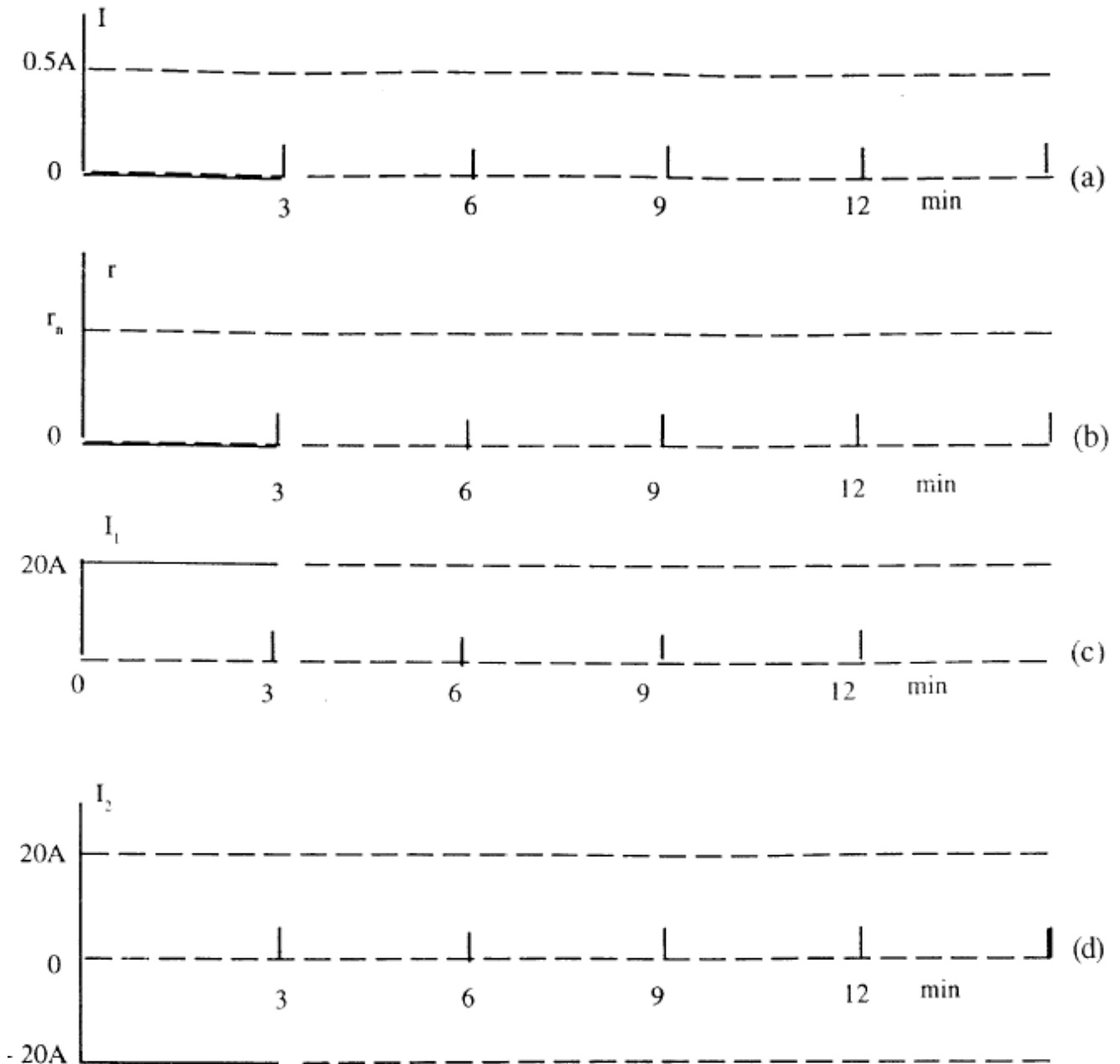
ให้หาค่ากระแส I , I_1 และ I_2 ในรูป 23.8 a, c และ d ตามลำดับโดยเขียนกราฟลงไปในรูปแบบที่กำหนดมาให้



รูป 25.8



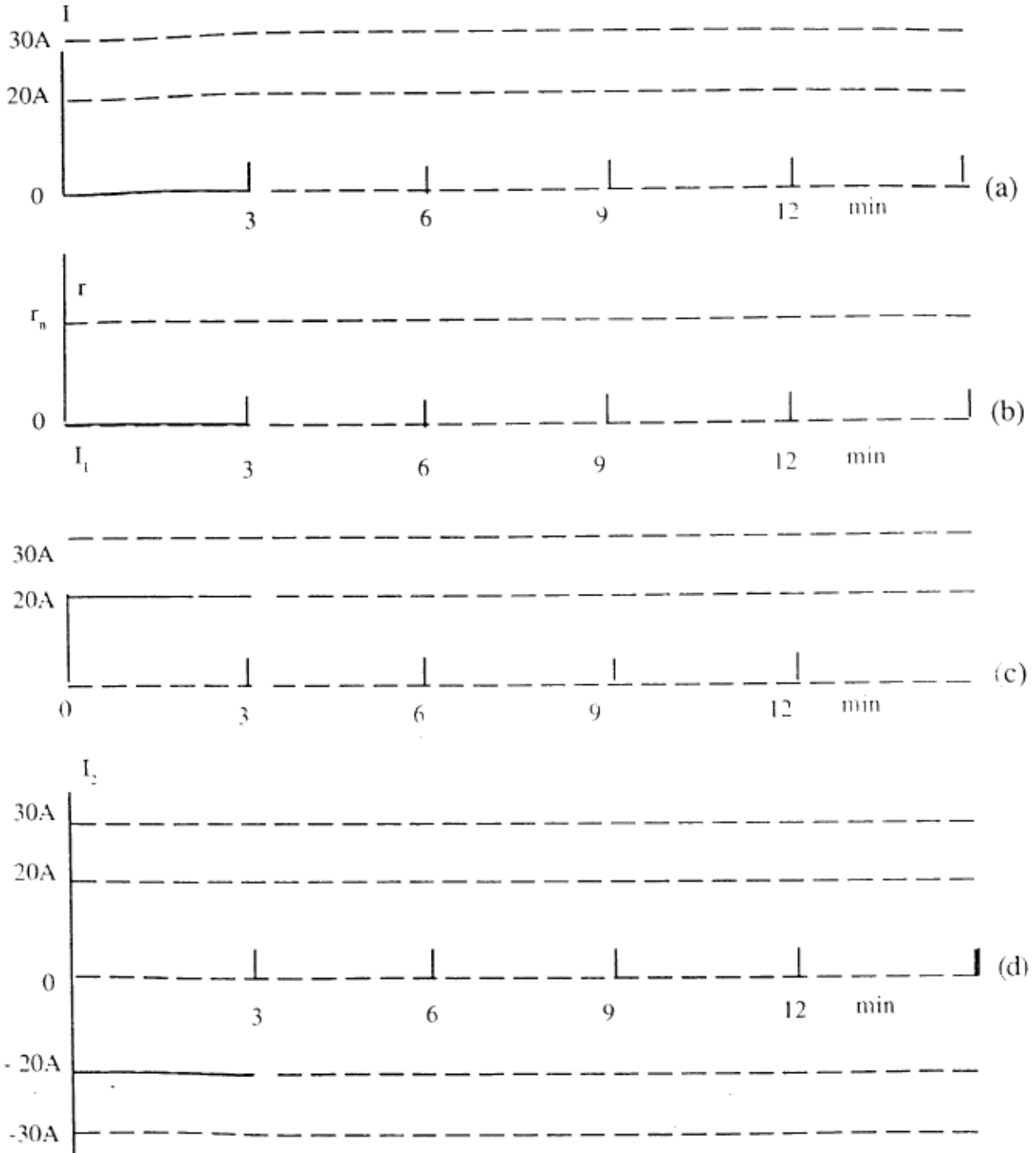
2.3 หากกำหนดไว้ว่ากระแสที่ต่ำกว่า 0.5A เท่านั้นที่สามารถไหลผ่านสวิตช์ตัวนำไฟฟ้า ยิ่งยวดในขณะที่อยู่ในภาวะปกติได้ หากกระแสมีค่าสูงกว่านี้จะทำให้สวิตช์ตัวนำยิ่งยวดไหม้ สมมติว่าแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวดกำลังทำงานในภาวะ persistent mode คือ $I = 0$ และ $I = i_1 = 20 \text{ A}$ ดังรูป 25.9 จากเวลา $t = 0$ ถึง $t = 3 \text{ min}$ หากเราจะหยุดการทดลองโดยลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวดลงเป็นศูนย์ เราจะต้องทำอย่างไร การดำเนินการอาจมีหลายขั้นตอน ให้เขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ I , r , I_1 และ I_2 ลงในรูป 25.9



รูป 25.9



2.4 ถ้าหากว่าแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวดกำลังทำงานอยู่ในภาวะ pe.sistent mode โดยมีกระแส $I = 20 \text{ A}$ (ในช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 3 \text{ min}$ ดังที่แสดงในรูป 25.10) เราจะต้องดำเนินการอย่างไรเพื่อให้ได้กระแส $I = 30 \text{ A}$ ในภาวะ persistent mode เหมือนเดิม โดยให้เขียนคำตอบลงไปบนกราฟในรูปที่ 25.11



รูป 25.10



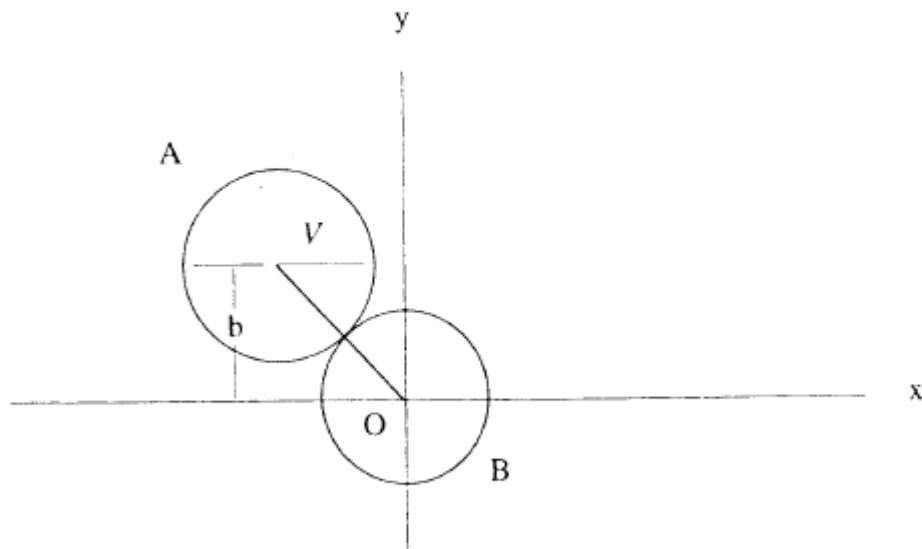
ข้อ 3 การชนกันระหว่างลูกทรงกลมที่มีแรงเสียดทานที่ผิว

ลูกทรงกลมตันสม่ำเสมอ A มีมวล m_A รัศมี R_A เคลื่อนที่ในแนวระนาบ $x-y$ ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ V มีทิศทางตามแนวแกน x และจุดศูนย์กลางของลูกทรงกลมอยู่เหนือแกน x เป็นระยะทาง b ลูกทรงกลมนี้ชนกับลูกทรงกลมตันสม่ำเสมอ B ที่อยู่นิ่ง มีมวล m_B และรัศมี R_B จุดศูนย์กลางของลูกทรงกลมอยู่ที่จุดกำเนิด สมมติว่าที่จุดสัมผัส แรงเสียดทานมีค่ามากพอที่ทำให้ความเร็วของจุดสัมผัสของลูกทรงกลมทั้งสองในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกับเส้นที่ลากต่อระหว่างจุดศูนย์กลางของลูกทรงกลมทั้งสองมีค่าเท่ากันทันทีหลังการชน และสมมติอีกว่าการชนกันที่พิจารณาตามแนวที่ลากต่อระหว่างจุดศูนย์กลางของลูกทรงกลมเป็นการชนแบบยืดหยุ่น

3.1 ให้หาเงื่อนไขที่ลูกทรงกลมทั้งสองจะชนกันได้

3.2 ให้หาองค์ประกอบของความเร็วของลูกทรงกลมหลังการชน คือ V_{Ax}' , V_{Ay}' , V_{Bx}' และ V_{By}' โดยตีออกเป็นค่าของ m_A , m_B , R_A , R_B , V และ b .

3.3 ให้หาค่าพลังงานจลน์ E_A' ของลูกทรงกลม A และ E_B' ของลูกทรงกลม B หลังการชน โดยตีออกเป็นค่าของ m_A , m_B , R_A , R_B , V และ b .



รูป 25.15



ภาคปฏิบัติ

ข้อ 1 การหาสภาพการสะท้อนแสงโพลาไรส์ที่ผิวไดอิเล็กทริกพลาสติก

อุปกรณ์การทดลอง

1. แหล่งแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน 1 ชุด กำลังประมาณ 1.5 mW
2. ตัวทำแสงโพลาไรส์ (polariser) พร้อมด้วยแผ่นสเกลวัดมุมรูปวงกลมติดอยู่ (ดูรูป) 2 ชุด
ตัวหนึ่งติดอยู่ที่หน้าตากล้องเลเซอร์ อีกตัวหนึ่งวางตั้งอยู่บนแผ่นกระดาษไม้โดยใช้หมุด
3. เครื่องวัดความเข้มแสง ประกอบด้วยโฟโตเซลล์และไมโครแอมมิเตอร์ (ดูรูป) 2 ชุด
4. แผ่นแก้วแยกแสง (beam splitter)
5. แผ่นพลาสติกไดอิเล็กทริกที่เราต้องการหาสภาพการสะท้อนแสงและดรรชนีหักเห
6. แท่นวางแผ่นพลาสติก ติดตั้งบนแผ่นสเกลวัดมุมครึ่งวงกลม (ดูรูป)
7. หมุดยาวสำหรับตรึงแท่นวางแผ่นพลาสติกบนแผ่นกระดาษ (drawing board) และทำ
หน้า ที่ เป็น แกนหมุน
8. ช่องแคบยาวและฉากสำหรับปรับขนาดของลำแสงเลเซอร์ตามแนวราบ และสำหรับปรับตั้ง
อุปกรณ์แสงให้อยู่ในแนวเส้นตรง
9. ร่องสำหรับติดตั้งอุปกรณ์แสงให้เข้าที่
10. แผ่นกระดาษ (drawing board)
11. กระดาษกราฟ

คำถามประกอบการทดลอง

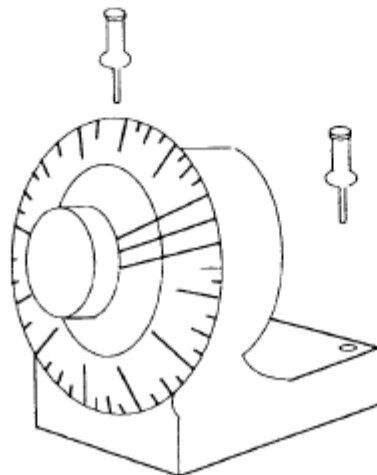
1. ให้หาสภาพการสะท้อนแสงขององค์ประกอบ p เป็นฟังก์ชันของมุมตก (องค์ประกอบ p
หมายความว่าถึงองค์ประกอบสนามไฟฟ้าที่ขนานกับระนาบตกกระทบ)
 - 1.1 ให้ระบุตำแหน่งของแกนผ่านแสงของตัวโพลาไรเซอร์ A โดยทำเครื่องหมายด้วย
แนวเส้นตรงเขียนลงไปบนจานสเกลวัดมุม ในการทำการทดลองวัดองค์ประกอบ
p (แกนผ่านแสงคือทิศทางการสั่นของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแสงที่ผ่านตัว
โพลาไรส์)
 - 1.2 เลือกใช้ไมโครแอมมิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งและตั้งเครื่องที่ x 5 ให้แสดงโดยผลการ
ทดลองว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและค่ากระแสที่อ่านได้จากไมโคร
แอมมิเตอร์เป็นสัดส่วนตรง



- 1.3 ให้เขียนแผนภาพของการตั้งเครื่องมือเพื่อหาค่าสภาพการสะท้อนแสงขององค์ประกอบ p เป็นฟังก์ชันของมุมตก
- 1.4 ให้รายงานข้อมูลการทดลองและค่าสภาพการสะท้อนแสงที่คำนวณได้(รวมทั้งสูตรที่ใช้คำนวณในรูปตาราง ให้เขียนกราฟของสภาพการสะท้อนแสงเป็นฟังก์ชันของมุมตก
2. ให้คำนวณดรรชนีหักเหของแผ่นไดอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลอง
3. ให้หาสภาพการสะท้อนแสงขององค์ประกอบ s เป็นฟังก์ชันของมุมตก (องค์ประกอบ s คือองค์ประกอบสนามไฟฟ้าที่ขนานกับระนาบตกกระทบ) ให้ระบุตำแหน่งแกนผ่านแสงของตัวโพลารไรส์ (A) โดยให้ทำเครื่องหมายเป็นเส้นตรงไปบนจานสเกลมุมในเมื่อทำการทดลองที่ใช้องค์ประกอบ s

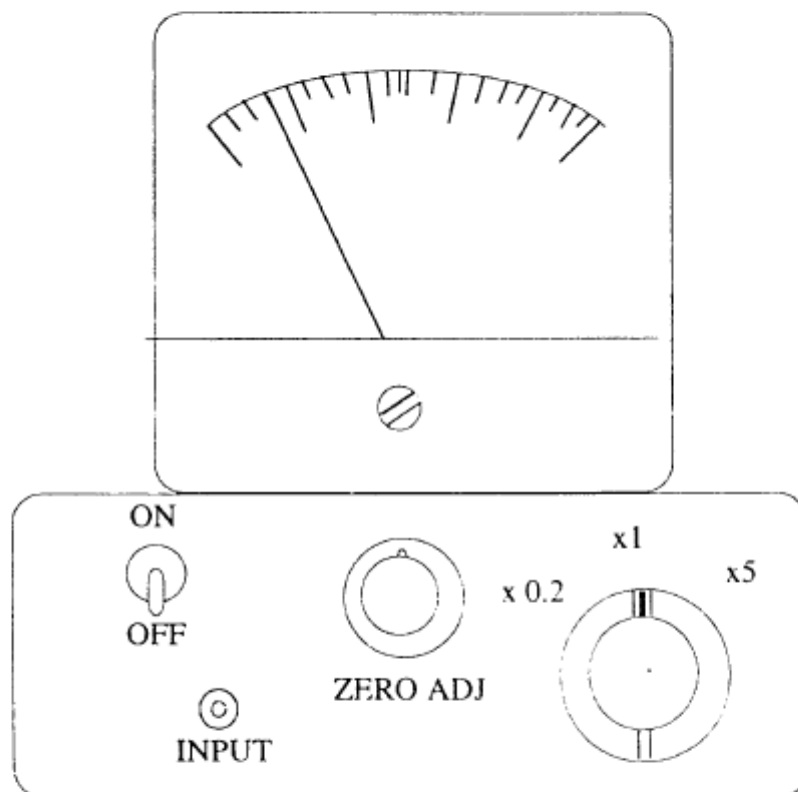
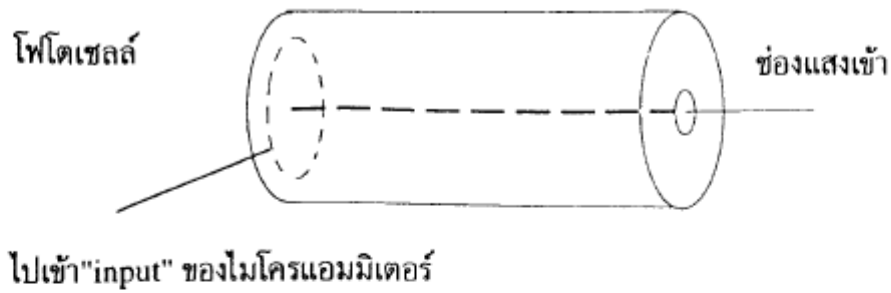
คำแนะนำและข้อควรระวัง

1. อย่าให้แสงเลเซอร์ส่องเข้าตาโดยตรง
2. กำลังของแสงเลเซอร์อาจแปรปรวนเป็นช่วง ๆ ดังนั้นตลอดการทดลองต้องใช้เครื่องวัดความเข้มแสงสองตัวพร้อมกัน ตรวจสอบและปรับผลการทดลอง
3. เปิดเลเซอร์ให้ทำงานตลอดเวลา แม้ว่าจะทดลองสิ้นสุดแล้วและออกจากห้องสอบให้เปิดเลเซอร์ไว้
4. แสงสะท้อนเป็นแสงโพลารไรส์ที่สมบูรณ์ที่สุดที่มุมตกกระทบ θ_B โดยที่ $\tan \theta_B = n$ (ดรรชนีหักเห)



ตัวทำโพลารไรส์พร้อมแผ่นสเกลวงกลมวัดมุม เข็มเครื่องหมายใช้ช่วยอ่านมุมเท่านั้น และไม่ใช้แสดงตำแหน่งแกนผ่านแสง

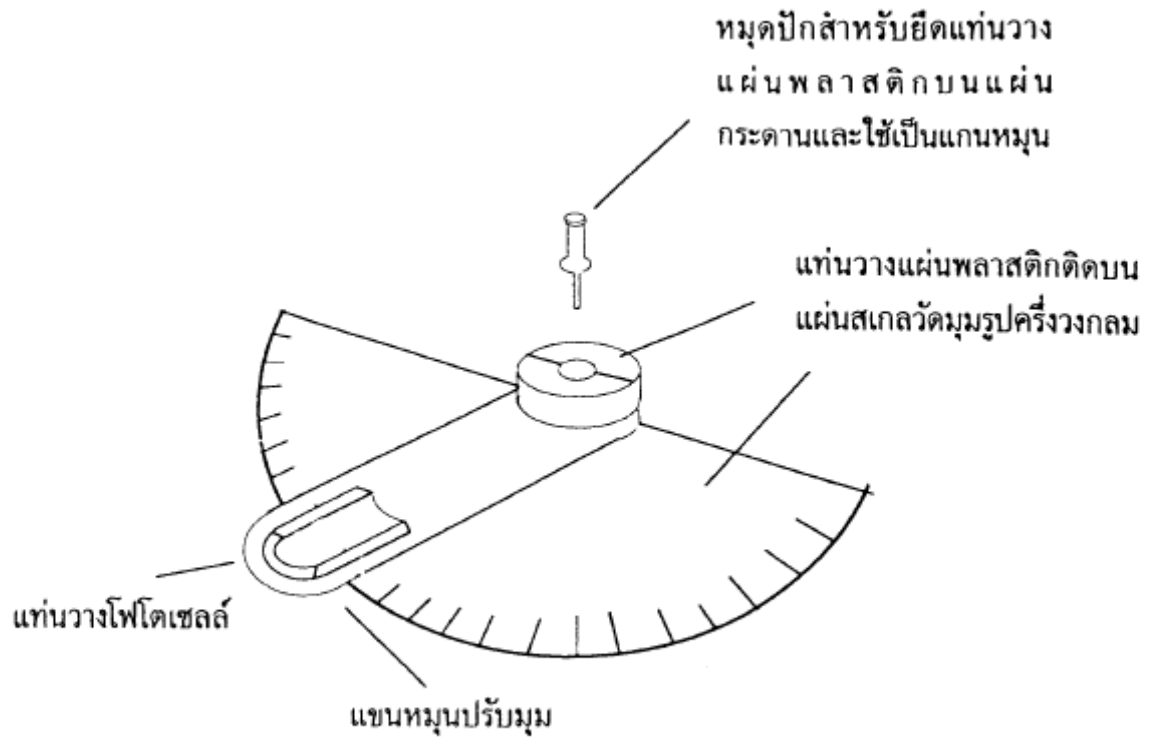
รูป 25.17



เครื่องวัดความเข้มแสง

รูป 25.18

1. เสียบปลั๊กของโฟโตเซลล์ เข้ากับ "INPUT" ของไมโครแอมมิเตอร์
2. เปิดสวิตช์ของไมโครแอมมิเตอร์
3. ปิดช่องแสงเข้าของโฟโตเซลล์ ปรับ "ZERO ADJ" ให้เข็มตรงกับเลข "0".
4. หมุนปุ่ม "Multiple" ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม



รูป 25. 19 แท่นวางแผ่นพลาสติกติดบนแผ่นสเกลวัดมุมครึ่งวงกลม



ข้อ 2 กล่องปริศนา

กล่องปริศนามีขั้ว 2 ขั้ว ภายในมีอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบ passive ไม่เกิน 3 ชิ้นต่อเข้าด้วยกัน ระหว่างขั้วทั้งสอง และไม่มีแหล่งกำเนิดโวลเทจอยู่ข้างใน ให้หาว่ามีอุปกรณ์อันใดต่ออยู่ภายใน แต่ละตัวมีค่าเท่าไรและต่อกันในลักษณะไหน ห้ามเปิดกล่อง

อุปกรณ์การทดลอง

1. ออสซิลโลสโคปแบบสองลำแสง
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่เสียง (audio frequency)
3. กล่องความต้านซึ่งตั้งความต้านทานไว้ที่ 100Ω ($\Delta R/R = \pm 0.5\%$)
4. สายไฟสำหรับต่อวงจร
5. กระดาษกราฟแบบ log-log หรือ semi-log หรือ linear ให้เลือกใช้ตามความจำเป็น

หมายเหตุ ปุ่มควบคุมต่าง ๆ ของออสซิลโลสโคป และเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่เสียงที่ไม่ได้ระบุหน้าที่ตั้งไว้ณตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว

สิ่งที่ผู้เข้าสอบต้องดำเนินการ

1. เขียนรูปวงจรที่ใช้ในการทดลอง
2. แสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้และค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในรูปของตาราง นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟที่จัดไว้ให้ (ระบุชื่อกราฟ ปริมาณและหน่วยบนแกนพิกัด)
3. เขียนรูปวงจรที่อยู่ในกล่องปริศนา บอกชื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งสามพร้อมค่าเฉพาะของแต่ละชิ้น (ให้แสดงวิธีคำนวณด้วย)

คำแนะนำ

1. ทำการการทดลองโดยใช้ความถี่ระหว่าง 100 Hz ถึง 50 kHz
2. เอาท์พุทโวลเทจของเครื่องกำเนิดสัญญาณควรต่ำกว่า 1.0 V (จากยอดถึงยอด)
3. ในการต่อสายไฟ ให้ระวังการรบกวนจากไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่ใช้ในอาคารด้วย
4. ค่าที่อ่านได้จากโวลทมิเตอร์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณมิได้เป็นค่าแท้จริง แต่เป็นแต่เพียงค่าสัมพัทธ์
5. ความถูกต้องหรือความคลาดเคลื่อนของการวัดโวลเทจ $\Delta V/V = \pm 4\%$



การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งที่ 26

ปี 1994

เมือง Canberra, ACT ประเทศ Australia

ภาคทฤษฎี

ข้อ 1 การเลื่อนความถี่ที่สเปกตรัมของแสงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและการคำนวณมวลของดาวฤกษ์

1.1 โฟตอนความถี่ f มีมวลอินเนอเซียลยังผล(effective inertial mass) m ซึ่งคิดได้จากค่าพลังงานของโฟตอน และเรารู้ว่ามวลอินเนอเซียลมีค่าเท่ากับมวลโน้มถ่วง(gravitational mass) เมื่อเป็นดังนี้แล้ว โฟตอนที่ถูกส่งออกจากที่ตำแหน่งผิวดาวฤกษ์จะเสียพลังงานส่วนหนึ่งก่อนที่จะหลุดพ้นจากสนามโน้มถ่วงของดาวฤกษ์นั้น จงแสดงว่าการเปลี่ยนความถี่ Δf ของโฟตอนเมื่อโฟตอนหลุดพ้นจากผิวดาวฤกษ์ไปที่ตำแหน่งอนันต์มีค่าเป็น

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{GM}{Rc^2}$$

สำหรับ $\Delta f \ll f$ ในเมื่อ $G =$ ค่าคงที่โน้มถ่วงสากล
 $R =$ รัศมีของดาวฤกษ์
 $c =$ ค่าความเร็วแสง
 $M =$ มวลของดาวฤกษ์

ดังนั้นถ้าเราทราบค่าการเลื่อนความถี่ของแสงไปทางปลายแดงของสเปกตรัมจากตำแหน่งที่อยู่ไกลจากดาว จะทำให้เราทราบค่า M/R และถ้าเราทราบค่า R เราย่อมคำนวณค่า M ของดาวฤกษ์นั้นได้

1.2 ยานอวกาศที่ไม่มีคนอยู่ในยานถูกส่งไปที่ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งเพื่อวัดมวล M และรัศมี R ของดาวดวงหนึ่งในแถบแก๊สของเรา ขณะที่ยานอวกาศเคลื่อนเข้าหาดาวที่ว่ามีรัศมี R โฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกจากไอออน He^+ บนผิวดาวถูกตรวจสอบด้วยการให้มีการกระตุ้นแบบเรโซแนนซ์ที่ไอออน He^+ จึงเป็นลำในห้องทดสอบในยานอวกาศ การดูดกลืนแบบเรโซแนนซ์เกิดขึ้นเมื่อ He^+ มีความเร็ววิ่งเข้าหาดาวเพื่อชดเชยกับการเคลื่อนไปทางปลายแดงพอดีสั้นอัตราเร็ว ($v = \beta c$) ของไอออน He^+ ในยานอวกาศสัมผัสกับดาวในขณะที่เกิดการดูดกลืนแบบเรโซแนนซ์เป็นฟังก์ชันของระยะทาง d จากผิว (ใกล้สุด)



ของดาว ข้อมูลที่ได้จากการทดลองปรากฏอยู่ในตารางข้างล่าง ให้ใช้ข้อมูลนี้อย่างเต็มที่เพื่อหาค่ามวล M และรัศมี R ของดาวโดยวิธีเขียนกราฟ การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบในกรณีไม่จำเป็น

ข้อมูลการดูดกลืนแบบเรโซแนนซ์

ความเร็วของ He^+	$\beta = v/c$	3.352	3.279	3.195	3.077	2.995
ระยะทางจากผิวดาว	$d (10^8 \text{ m})$	38.90	19.98	13.32	8.99	6.67

1.3 เพื่อหาค่า R และ M ในการทดลองตามที่กล่าวมานี้ ตามปกติควรแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตีบตัวถอยหลังของอะตอมที่ปล่อยโฟตอน (การเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน ทำให้เส้นสเปกตรัมของแสงส่งออกกว้างขึ้นเท่านั้น แต่ไม่มีการเลื่อนยอดความเข้มสูงสุด และถือได้ว่าได้รวมผลของความร้อนไว้แล้วจึงไม่ต้องนำมาคำนวณ)

1.3.1 ให้ ΔE เป็นผลต่างระหว่างระดับพลังงานของอะตอมเมื่ออะตอมอยู่นิ่งกับที่ในทุกกรณี สมมติว่าอะตอมที่อยู่นิ่งปล่อยโฟตอนแล้วถอยหลัง ให้หาสมการแบบสัมพัทธภาพที่แสดงค่าพลังงาน hf ของโฟตอนที่ถูกปล่อย โดยตีออกเป็นค่าของ ΔE และ มวลนิ่ง m_0 ของอะตอม

1.3.2 จากนั้นให้หาค่าตัวเลขโดยประมาณของการเลื่อนความถี่แบบสัมพัทธภาพ $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{Recoil}}$

สำหรับกรณีไอออน He^+

คำตอบของท่านควรมีค่าน้อยกว่า การเลื่อนไปทางปลายแดงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ที่คำนวณได้ใน 1.2 เป็นจำนวนมาก

กำหนดให้

ความเร็วแสง $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$

พลังงานอยู่นิ่งของ He^+ คือ $m_0 c^2 = 4 \times 938 \text{ MeV}$

พลังงานอะตอมของโบห์ร $E_n = -\frac{13.6Z^2}{n^2} \text{ eV}$



ข้อ 2 การแผ่คลื่นเสียง

ความนำ

ความเร็วของเสียงในทะเลแปรไปตามความลึก อุณหภูมิ และความเค็มของน้ำทะเล รูป 26.2ก แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียง c เทียบกับความลึก z ความเร็วที่น้อยที่สุด

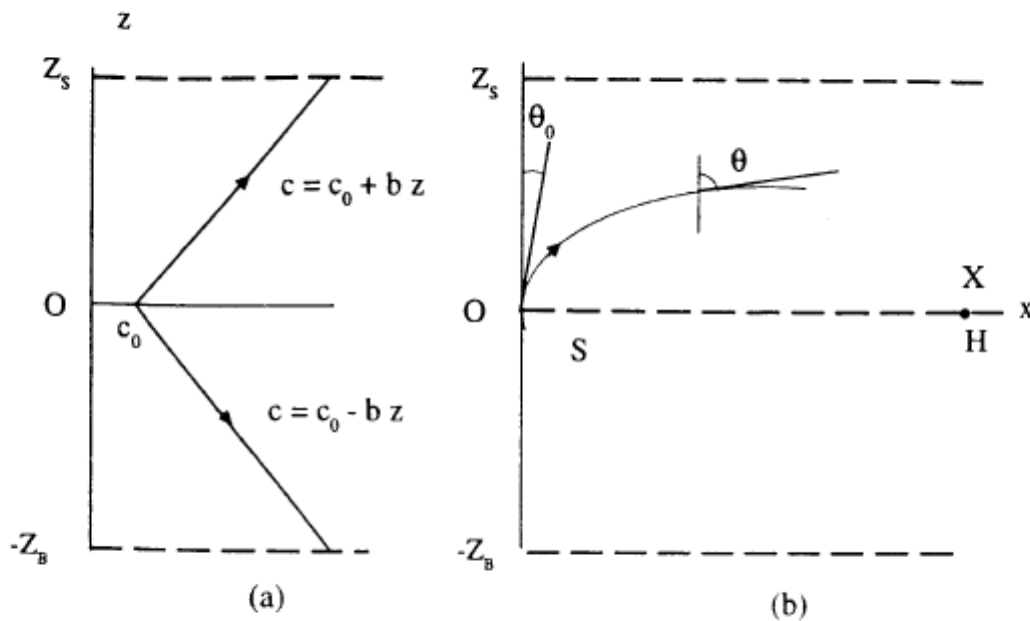
c_0 เกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางระหว่างผิวทะเลและท้องทะเล เพื่อความสะดวก เรากำหนดให้ $z = 0$ ที่ความลึกซึ่งความเร็วเสียงมีค่าน้อยที่สุด ให้ $z = z_s$ ที่ผิวทะเล และ $z = z_b$ ที่ก้นทะเล เหนือ $z = 0$ ค่าของ c เป็นไปตามสมการ

$$c = c_0 + bz$$

ใต้ $z = 0$ ค่าของ c เป็นไปตามสมการ

$$c = c_0 - bz$$

ในแต่ละกรณี $b = \left| \frac{dc}{dz} \right|$ นั่นคือ b คือขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วตามความลึก เราถือว่า b เป็นค่าคงที่



รูป 26.3

รูป 26.3 (ก) แสดงภาคตัดขวางของระนาบ $z-x$ ของมหาสมุทร เมื่อ x เป็นระยะทางในแนวระดับที่ทุกจุดบนระนาบ $z-x$ รูปแบบของความเร็วของเสียง $c(z)$ เป็นดังรูป 26.3 (ก)

ที่ตำแหน่ง $z = 0, x = 0$ มีแหล่งกำเนิดเสียง S ตั้งอยู่ เส้นทางบางส่วนของเสียงออกจากแหล่งกำเนิด S ทำมุม θ_0 ดังรูป 26.3 (ข) เนื่องจากความเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลงตามค่า เส้นทางของลำแสงเสียงจะ ทำให้มุม θ เปลี่ยนแปลงไปตามเส้นทางการเดินทางของเสียง



2.1 จงแสดงให้เห็นว่าเส้นทางของลำเสียงตั้งต้นที่ออกจากแหล่งกำเนิด S และอยู่ในระนาบ $z-x$ เป็นอาร์คของวงกลมที่มีรัศมี R และ

$$R = \frac{c_0}{b \sin \theta_0} \quad \text{for} \quad 0 \leq \theta_0 \leq \frac{\pi}{2}$$

2.2 ให้หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง c_2 , c_0 และ b ที่ทำให้มุม θ_0 มีค่าน้อยที่สุดสำหรับลำเสียงที่พุ่งขึ้นได้โดยไม่สะท้อนกลับ

2.3 รูป 26.3 (ข) แสดงตำแหน่งเครื่องรับเสียง S ซึ่งวาง ณ ตำแหน่ง $z = 0$, $x = X$ ให้หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง b , c_0 และ X สำหรับค่าต่าง ๆ ของ θ_0 สำหรับลำเสียงที่ออกจาก S ไปยังเครื่องรับ H โดยถือว่า z_s และ z_h มีขนาดโตมากพอที่จะไม่ทำให้เสียงสะท้อนจากผิวทะเลและท้องทะเล

1.4 ให้คำนวณค่าน้อยที่สุด 4 ค่า ของ θ_0 ที่ทำให้ลำเสียงที่ออกจาก S ไปยัง H

$$X = 10,000 \text{ m}$$

$$c_0 = 1,500 \text{ m/s}$$

$$b = 0.0200 \text{ s}^{-1}$$

1.5 จงหาสมการเพื่อใช้คำนวณเวลาที่เสียงเดินทางจาก S ไปยัง H ไปตามเส้นทางของลำเสียง ซึ่งให้ค่า θ_0 น้อยที่สุด ตามที่คำนวณได้จาก 2.3 และให้คำนวณเวลาการเดินทางของเสียงตามเงื่อนไขที่ระบุใน 1.4

สูตรอินทิกรัลที่จำเป็นต้องใช้คือ

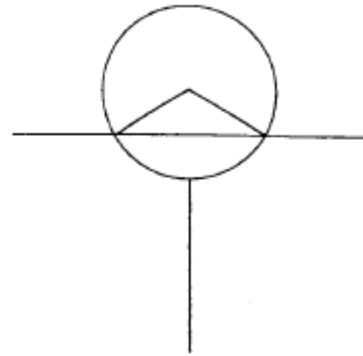
$$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \tan\left(\frac{x}{2}\right)$$

ให้คำนวณเวลาที่ลำเสียงที่พุ่งตรงจาก S ไปยัง H ตามเส้นทาง $z = 0$ ระหว่างลำเสียงที่มี $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$ และ θ_0 ที่มีค่าน้อยที่สุดตามที่คำนวณได้ตาม 1.4 ลำเสียงอันไหนถึง H ก่อน

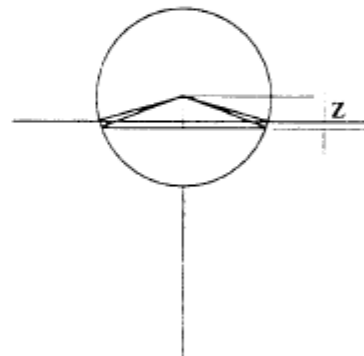


ข้อ 3 ท่อนลอยรูปทรงกระบอก

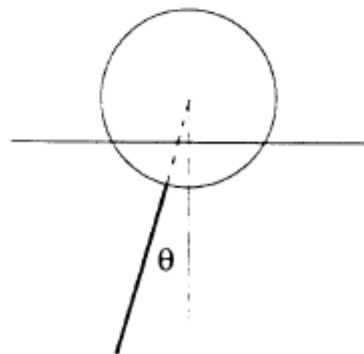
3.1 ท่อนลอยประกอบด้วยลูกทรงกระบอกตัน รัศมี a ความยาว l ทำด้วยวัสดุเบาที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ d และมีแท่งวัตถุเกร็งรูปสามเหลี่ยมติดตั้งอยู่ทางด้านล่างตรงจุดกึ่งกลางตามแนวความยาวของลูกทรงกระบอกพอดี มวลของแท่งวัตถุมีค่าเท่ากับมวลของลูกทรงกระบอก ความยาวของแท่งวัตถุมีค่าเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลูกทรงกระบอก ความหนาแน่นของแท่งวัตถุมากกว่าความหนาแน่นของน้ำทะเล ท่อนลอยที่วางนี้ลอยอยู่ในน้ำทะเลซึ่งมีความหนาแน่น ρ ในภาวะสมดุล ให้หาความสัมพันธ์ระหว่างมุมลอย α (ดังรูป) และ d/ρ ไม่คิดปริมาตรของแท่งวัตถุซึ่งมีค่าน้อย



3.2 ถ้าท่อนลอยถูกกดลงตามแนวตั้งเป็นระยะทางเล็กน้อย z จะทำให้มีแรงดันขึ้น ทำให้ระบบท่อนลอยสั่นกระเพื่อมขึ้นลงตามแนวตั้งรอบตำแหน่งสมดุลเดิม ให้หาค่าความถี่ของการสั่นกระเพื่อมขึ้นลงเป็นฟังก์ชันของ α , g และ a ในที่นี้ g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ให้ถือว่าอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของน้ำที่มีต่อการเคลื่อนไหวของท่อนลอยทำให้มวลยังผลของท่อนลอยเพิ่มขึ้นหนึ่งในสาม และให้ถือว่า α ไม่ใช่มุมเล็ก a



3.3 โดยการประมาณว่าลูกทรงกระบอกแกว่งกวัดรอบแกนที่ผ่านจุดกึ่งกลางในแนวระดับ ให้หาความถี่ของการแกว่งกวัดอีกครั้งหนึ่ง เป็นฟังก์ชันของ g และ a ในกรณีนี้ไม่คิดการเคลื่อนไหวและการหนืดของน้ำ และให้ถือว่า การแกว่งกวัดกระทำในมุมเล็ก ๆ



รูป 26.7



3.5 ถ้าทุ่นลอยบรรจุเครื่องวัดความเร่งซึ่งสามารถวัดการเคลื่อนที่แบบกระเพื่อมในแนวตั้งและแบบแกว่งกวัดได้ แล้วส่งข้อมูลโดยวิทยุไปยังฝั่งได้ สัมพัทธ์กับน้ำนิ่งการกระเพื่อมในแนวตั้งบันทึกได้ว่าคาบของการกระเพื่อมประมาณ 1 วินาที และคาบการแกว่งกวัดรอบแกนในแนวระดับประมาณ 1.5 วินาที จากข้อมูลนี้ ให้แสดงว่า มุมลอยมีค่าประมาณ 90° และให้คำนวณรัศมีของลูกทรงกระบอกของทุ่นลอย มวลทั้งหมดของระบบของทุ่นลอย

กำหนดให้ความยาวของลูกทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ a

(ท่านอาจใช้ค่า $\rho = 1,000 \text{ kgm}^{-3}$ และ $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$



ภาคปฏิบัติ

ข้อ 1. ความเร็วสุดท้ายในของเหลวหนืด

วัตถุที่ตกในของเหลวในที่สุดจะมีความเร็วคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่าความเร็วสุดท้าย (terminal velocity) วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือการวัดความเร็วสุดท้ายของวัตถุต่าง ๆ ที่ตกในกลีเซอริน

สำหรับลูกทรงกลมรัศมี r ที่ตกในของเหลวที่มีความหนืดด้วยค่าความเร็ว v ค่าแรง F จากความหนืดเป็นไปตามสมการ $F = 6\pi\eta rv$ ในเมื่อ η เป็นค่าคุณสมบัติของของเหลวเรียกว่าความหนืด (viscosity) ในการทดลองนี้ท่านสามารถวัดความเร็วสุดท้ายของโลหะรูปทรงกระบอก (เนื่องจากการทำลูกทรงกระบอกง่ายกว่าการทำลูกทรงกลม) เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกทรงกระบอกทุกอันเท่ากับค่าความยาวคือ $2r$

และค่าแรงหนืดที่กระทำต่อลูกทรงกระบอกคือ

$$F_{Cyl} = 6\pi\kappa\eta r^m v$$

$\kappa = 1$ และ $m = 1$ สำหรับลูกทรงกลม

ขั้นแรก คำนวณความเร็วสุดท้าย

ถ้า ρ เป็นความหนาแน่นของลูกทรงกระบอก และ ρ' เป็นความหนาแน่นของของเหลว ให้แสดงว่าความเร็วสุดท้ายของ v_T ของลูกทรงกระบอกมีค่าเป็น

$$v_T = Cr^{3-m}(\rho - \rho')$$

ในเมื่อ C คือค่าคงที่ และให้แจ้งค่า C เป็นฟังก์ชันของ κ และ η

การทดลอง

ให้ใช้เครื่องมือที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อหาค่าตัวเลขของกำลัง m ในสมการข้างบน และค่าความหนาแน่นของกลีเซอริน

หมายเหตุ

-เพื่อความถูกต้องสอดคล้อง พยายามปล่อยวัตถุให้ตกในลักษณะเดียวกัน โดยที่แกนของลูกทรงกระบอกอยู่ในแนวระดับ



-ความคลาดเคลื่อนของมิติความยาวของลูกทรงกระบอกเท่ากับ 0.05 mm ท่านไม่จำเป็นต้องวัดมิติของลูกทรงกระบอกเพราะกำหนดมาให้แล้ว

-ภายในกระบอกตวงมีตระแกรงทองเหลืองสำหรับให้ท่านใช้ในการเก็บลูกทรงกระบอกมาใช้ใหม่ ข้อควรระวัง ปรับตะแกรงให้เข้าที่ก่อนปล่อยวัตถุลงในกลีเซอริน ไม่เช่นนั้นแล้วท่านจะไม่สามารถนำลูกทรงกระบอกขึ้นมาทำการทดลองซ้ำได้

-เมื่อกลีเซอรินดูคุ่น้ำจากบรรยากาศจำทำให้ความหนืดลดลง ดังนั้นต้องทำการให้เป็นที่น่าใจว่า กระบอกตวงที่ใส่กลีเซอรินมีฝาพลาสติกที่ให้ไว้ปิดอยู่เสมอ

-อย่าให้ลูกทรงกระบอกขนาดต่าง ๆ และทรงกระบอกต่างชนิดกันปนภายหลังกการทดลอง

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
อะลูมิเนียม	2.70×10^3
ไททานเนียม	4.54×10^3
สเตนเลสสตีล	7.87×10^3
ทองแดง	8.96×10^3

อุปกรณ์

กระบอกตวงบันจุกลีเซอริน ขนาด 100 mL	1 กระบอก
ภาชนะบันจุกลีเซอรินสำหรับใส่เต็มในกระบอกตวง	1 อัน
นาฬิกาจับเวลาอิเล็กทรอนิกส์	1 เรือน
ไม้บันทึกขนาด 30 cm	1 อัน
ที่หนีบผ้าทำด้วยพลาสติก	1 อัน
ตะแกรงสำหรับเก็บลูกทรงกลมที่กั้นกระบอกตวง	1 อัน
ประคิ๊บ	1 อัน
ลูกทรงกลมอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.00 mm	6 อัน
ลูกทรงกลมอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.00 mm	6 อัน
ลูกทรงกลมอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.00 mm	6 อัน
ลูกทรงกลมอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 mm	6 อัน
ลูกทรงกลมไททานเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 mm	6 อัน
ลูกทรงกลมสเตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 mm	6 อัน
ลูกทรงกลมทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 mm	6 อัน
กระดาษกราฟธรรมดา และกระดาษกราฟ log-log	



ข้อ 2. การเลี้ยวเบนและการกระเจิงของแสงเลเซอร์

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือการแสดงและหาค่าต่างๆเกี่ยวกับการสะท้อนและการกระเจิงของแสงเลเซอร์จากแหล่งเลเซอร์ไดโอดเครื่องมือที่ใช้คือไม้บันทึกโลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นเกรตติงกล่องเพอซเปกซ์บันจูน้ำนมละลายในน้ำและการดำเนินการวัดเกี่ยวกับการสะท้อนและการกระเจิง

ตอนที่ 1.

วางไม้บันทึกโลหะยาว 150 มิลลิเมตรที่กำหนดมาให้ให้ส่วนที่ขจัดมันของไม้บันทึกตั้งฉากกับลำแสงเลเซอร์ลำแสงเลเซอร์จะส่งลงไปบนขีดมิลลิเมตรให้สังเกต "จุด" บนฉากที่ทำด้วยกระดาษขาวซึ่งเป็นผลของปรากฏการณ์เลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์

วัดตำแหน่งและระยะทางระหว่างจุดเหล่านี้เมื่อฉากอยู่ที่ระยะทางประมาณ 1.5 เมตรจากไม้บันทึกและให้ทำแผนผังการวางรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือทดลองให้ชัดเจน

สูตรความสัมพันธ์ที่เป็นประโยชน์คือ

$$N\lambda = \pm h \sin\beta$$

ในเมื่อ N คือ อันดับจุดในรูปแบบการเลี้ยวเบน
 λ คือความยาวคลื่น
 h คือระยะห่างระหว่างขีดบนไม้บันทึก
 β คือมุมการเลี้ยวเบน

จากข้อมูลที่ได้จากการวัดของท่านให้หาความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์และความคลาดเคลื่อนของคำตอบ

ตอนที่ 2

ให้วางกล่องเพอซเปกซ์ที่กำหนดให้ให้อยู่ระหว่างแสงเลเซอร์และฉากกระดาษขาวโดยวางกล่องในตำแหน่งที่ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบในแนวตั้งฉากกับผืนกล่องโดยประมาณ

2.1 ให้สังเกตการลดค่าความเข้มของลำแสงที่พุ่งออกจากกล่องและคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดค่าที่กล่าวมานี้ท่านสามารถใช้แผ่นกรองแสงที่มีค่าที่ทราบค่าเพื่อใช้เทียบค่าความเข้มของแสงที่ผ่านถึงเพอซเปกซ์ให้ตระหนักว่าตาของมนุษย์มีการตอบสนองต่อแสงในสเกล log การลดความเข้มในตอนแรกเกิดจากการสะท้อนแสงโดยจะมีการสูญเสียตรงชายแดนระหว่างอากาศและเพอซเปกซ์ซึ่งในกรณีที่ว่าแสงจะทะลุกล่องจะมีการลดค่า 4 ครั้ง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงในกรณีการตกกระทบในแนวฉาก R เป็นไปตามสูตร



$$R = [(n_1 - n_2)/(n_1 + n_2)]^2$$

ในที่นี้ n_1 และ n_2 เป็นค่าดัชนีหักเหก่อนและหลังกระทที่ผิวรอยต่อ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง T ที่เกิดขึ้นพร้อมกับการสะท้อนแสง เป็นไปตามสมการ

$$T = 1 - R$$

2.2 ถ้าถือว่าดัชนีหักเหของเพอสเฟกซ์เท่ากับ และไม่คิดผลของการสะท้อนหลายครั้ง และการอาพันธ์ ให้คำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความเข้มของกล่องเพอสเฟกซ์เปล่า ให้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้นี้กับการคำนวณใน 2.1

ตอนที่ 3

โดยที่ไม่ต้องเคลื่อนย้ายกล่องเพอสเฟกซ์ ให้ทำการทดลองและคำนวณค่าดังตอนที่ 2 ใหม่ แต่ในการทดลองคราวนี้ให้ใส่น้ำ 50 cc ลงไปในกล่องเพอสเฟกซ์ ให้ถือว่าค่าดัชนีหักเหของน้ำเป็น 1.33

ตอนที่ 4

4.1 เติมนม (วัตถุกระเจิงแสง หรือตัวกระเจิง) ปริมาตร 0.5 cc (ประมาณ 12 หยด) ลงไปในน้ำที่บรรจุอยู่ในกล่องเพอสเฟกซ์ ให้วัดค่ามุมที่แสงกระเจิงออกจากแนวเดิมให้แม่นยำที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ พร้อมทั้งให้วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงที่ออกจากผิวกล่องด้านนอกสุด (โดยใช้จากรับ) ให้ตระหนักว่าปริมาณทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน ให้คำนวณการลดค่าความเข้มเนื่องจากการส่งผ่านแบบเดียวกันกับที่ได้พิจารณาในตอนต้น

4.2 เติมนมอีก 0.5 cc ลงในกล่องเพอสเฟกซ์ ทำการทดลองซ้ำดังในข้อ 4.1

4.3 ทำการทดลองซ้ำดังในข้อ 4.2 เรื่อย ๆ ไปจนกระทั่งไม่สามารถสังเกตเห็นแสงเลเซอร์ที่ส่งผ่านหรือเห็นได้น้อยมาก

4.5 ให้หาความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระเจิงและความเข้มข้นของนมในกล่อง

4.6 ให้ใช้ผลการทดลองของท่านและความสัมพันธ์

$$I = I_0 e^{-\mu z} = T_{milk} I_0$$



ในเมื่อ I_0 คือความเข้มของแสงเลเซอร์ขาเข้า

I คือค่าความเข้มของแสงเลเซอร์ขาออก

z คือระยะทางภายในกล่อง

μ คือสัมประสิทธิ์การลดลงซึ่ง = ค่าคงที่ $\times C$ (ความเข้มข้นของนมในกล่อง)

T_{mik} คือสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงผ่านนม

ให้คำนวณ μ สำหรับตัวกระจิงที่มีความเข้มข้น 10%.

อุปกรณ์

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอด

ไม้บันทึกโลหะเพื่อใช้เป็นเกรตติง

กล่องเพอสเพกซ์สำหรับใส่น้ำและนมสำหรับการทดลองการสะท้อนและการกระเจิงของแสงเล

เซอร์

เทปวัดระยะทาง

ฉากกระดาษขาว

ไม้โปรแทรกเตอร์

แผ่นกรองแสงลดการส่งผ่าน(พร้อมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน)

บีกเกอร์และเครื่องมือทำและปล่อยหยดของเหลว

ไม้กวน

กระดาษกราฟธรรมดาและกระดาษกราฟเซมิลอก