ปฏิบัติการที่ 2
การทดลองของมิลลิแกน
(Lab 2: Millikan's Experiment)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายใต้สนามโน้มถ่วงและสนามไฟฟ้า
2. เรียนรู้วิธีการหาค่าประจุของอิเล็กตรอนจากการทดลองของมิลลิแกน

อุปกรณ์

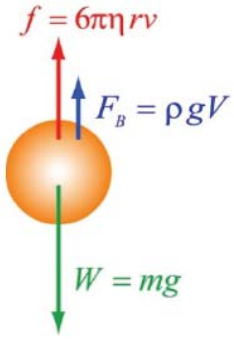
1. โปรแกรมจำลองการทดลองการทดลองของมิลลิแกน (VLab 02-Millikan.swf)

ทฤษฎี

ในปี ค.ศ. 1909, มิลลิแกน (Robert Millikan) และ เฟรตเชอร์ (Harvey Fletcher) ซึ่งเป็นศิษย์ของเขาได้แสดงให้เห็นว่าพวกเขาสามารถทำให้หยดน้ำมันมีขนาดเล็กมากเป็นละอองซึ่งบนแต่ละหยดน้ำมันนั้นมีอิเล็กตรอนสะสมอยู่ หลังจากนั้นพวกเขาสามารถวัดจะค่าประจุทั้งหมดที่สะสมอยู่ในหยดน้ำมันนั้น ซึ่งพวกเขาพบว่าค่าประจุที่วัดได้นั้นมีค่าเป็นจำนวนเท่าของประจุอิเล็กตรอน (1.602×10^{-19} C) ในการทดลอง มิลลิแกนสามารถคำนวณหาค่าประจุของอิเล็กตรอนจากการสังเกตการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันที่มีประจุไฟฟ้าภายใต้สนามโน้มถ่วงและภายใต้สนามไฟฟ้า โดยการทดลองนี้จัดเป็นหนึ่งในการทดลองที่ยิ่งใหญ่ที่สุดของฟิสิกส์แผนใหม่ในสมัยนั้น และต่อมาในปี ค.ศ. 1923 เขาจึงได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์จากการทดลองนี้

พิจารณาการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันภายใต้สนามโน้มถ่วง แสดงดังรูปที่ 1 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อหยดน้ำมันประกอบด้วยน้ำหนักของหยดน้ำมัน (W) แรงลอยตัว (F_B) และแรงต้านอากาศ (f) โดยขนาดของน้ำหนักมีค่าเท่ากับ

$$W = mg \tag{1}$$



รูปที่ 1 แรงที่กระทำต่อหยดน้ำมันขณะที่กำลังเคลื่อนที่ภายใต้สนามโน้มถ่วง

จากหลักการของอาร์คิมิดีส แรงลอยตัวของของไหลคำนวณได้จากน้ำหนักของของไหลที่ถูกแทนที่

$$F_B = \rho gV \tag{2}$$

โดย ρ คือความหนาแน่นของของไหล W คือปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมอยู่ในของไหลนั้น ในกรณีนี้ของไหลคืออากาศ และหยดน้ำมันจมอยู่ในอากาศทั้งหยด ดังนั้นแรงลอยตัวเนื่องจากอากาศจึงมีค่าเท่ากับ

$$F_B = \rho_{air} g V_d \tag{3}$$

เมื่อ ρ_{air} คือความหนาแน่นของอากาศ และ V_d คือปริมาตรของหยดน้ำมัน เราอาจประมาณว่าหยดน้ำมันมีลักษณะเป็นทรงกลมรัศมี r ในกรณีนี้ แรงลอยตัวสามารถเขียนได้เป็น

$$F_B = \rho_{air} g\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) \tag{4}$$

ส่วนแรงที่สามคือแรงต้านอากาศเป็นผลอันเนื่องมาจากอากาศมีความหนืด ในกรณีที่วัตถุมีลักษณะเป็นทรงกลมเคลื่อนที่อยู่ในของไหลด้วยอัตราเร็วไม่มาก เราสามารถใช้กฎของสโตกส์มาช่วยในการคำนวณหาขนาดของแรงต้านของของไหลได้ โดยกฎของสโตกส์กล่าวว่าแรงต้านเนื่องจากความหนืดของของไหลมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = 6\pi\eta r v \tag{5}$$

โดย η คือความหนืดของของไหล (ในที่นี้คืออากาศ) r คือรัศมีของวัตถุทรงกลม และ v คืออัตราเร็วของวัตถุ

จะเห็นได้จากกฎของสโตกส์ว่าขนาดของแรงต้านของของไหลขึ้นอยู่กับขนาดของอัตราเร็ว นั่นคือขณะที่วัตถุไม่เคลื่อนที่ก็จะไม่มีแรงต้าน ยิ่งวัตถุเคลื่อนที่เร็วเท่าไรแรงต้านก็มากตามไปด้วย ช่วงแรกที่หยดน้ำมันถูกฉีดออกมาจากที่พ่นหยดน้ำมัน หยดน้ำมันจะตกลงด้านล่างเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง) แต่เนื่องจากขนาดของหยดน้ำมันมีขนาดเล็ก หลังจากที่หยดน้ำมันเคลื่อนที่ได้ไม่นานนักแรงต้านอากาศจะมีค่ามากขึ้นตามขนาดของความเร็วของหยดน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจนในที่สุดแรงต้านอากาศบวกกับแรงลอยตัวก็มีค่าเท่ากับน้ำหนักของหยดน้ำมัน นั่นคือที่จุดนี้หยดน้ำมันอยู่ในสภาวะสมดุล (แรงลัพธ์เป็นศูนย์) และเคลื่อนที่ด้วยขนาดของความเร็วที่คงที่ เราเรียกความเร็วนี้ว่า “ความเร็วปลาย” (terminal velocity) เราสามารถอาศัยเงื่อนไขความเป็นสมดุลของหยดน้ำมันมาใช้คำนวณหาขนาดของความเร็วปลาย (ใช้สัญลักษณ์ v_t) ได้ดังนี้

จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันสำหรับวัตถุที่อยู่ในสภาวะสมดุล แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุต้องเป็นศูนย์

$$\sum \vec{F} = 0 \tag{6}$$

ถ้าเรากำหนดให้ทิศขึ้นเป็นบวก จากรูปที่ 1 เราสามารถเขียนสมการที่ (6) ได้เป็น

$$F_B + f - W = 0 \tag{7}$$

แทนค่าต่างๆ ตามที่ได้อธิบายไปข้างต้นจะได้เป็น

$$\rho_{air} g\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) + 6\pi\eta r v_t - mg = 0 \tag{8}$$

เนื่องจากเราไม่รู้ขนาดของมวลหยดน้ำมันโดยตรง แต่เราสามารถคำนวณได้จากผลคูณของความหนาแน่นของน้ำมัน (ρ_d) และปริมาตรของหยดน้ำมัน (V_d) นั่นคือเราอาศัยความสัมพันธ์

$$m = \rho_d V_d = \rho_d\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) \tag{9}$$

สมการที่ 8 สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

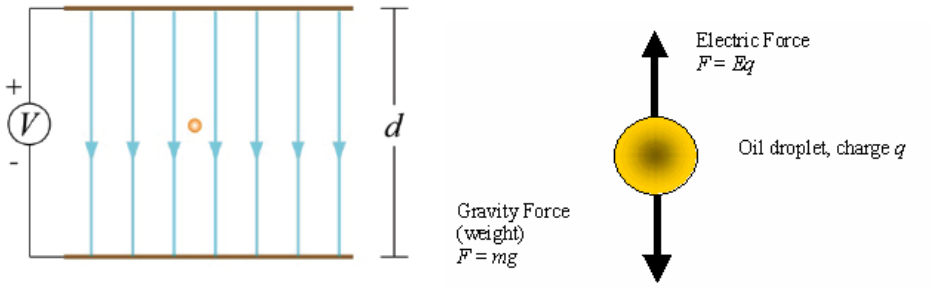
$$\rho_{air} g\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) + 6\pi\eta r v_t - \rho_d\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) g = 0 \tag{10}$$

จัดรูปให้ขนาดของความเร็วปลายอยู่ทางด้านซ้ายของสมการ จะได้ว่า

$$v_t = \frac{g\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)(\rho_d - \rho_{air})}{6\pi\eta r} = \frac{2gr^2(\rho_d - \rho_{air})}{9\eta} \qquad (11)$$

ในการคำนวณหรือในการทดลองที่เรามีข้อมูลของความหนาแน่นของอากาศ (ρ_{air}) ความหนาแน่นของหยดน้ำมัน (ρ_d) และความหนืดของอากาศ (η) ถ้าเราทำการวัดขนาดของความเร็วปลายได้ เราสามารถใช้สมการที่ 11 ในการคำนวณหารัศมีของหยดน้ำมันได้

ถัดมาเราพิจารณาการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันเมื่อมีสนามไฟฟ้าเพิ่มเติมเข้ามาด้วย หยดน้ำมันภายใต้สนามไฟฟ้าแสดงไว้ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 (a) สนามไฟฟ้าจากแผ่นโลหะคู่ขนาน (b) แรงที่กระทำกับหยดน้ำมันขณะที่เคลื่อนที่ภายในสนามไฟฟ้า

ในที่นี้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเกิดจากการให้ความต่างศักย์ไปบนแผ่นโลหะคู่ขนาน ถ้าเราพิจารณาบริเวณตรงกลางของแผ่นโลหะเราจะประมาณได้ว่าสนามไฟฟ้ามีลักษณะสม่ำเสมอดังในรูปที่ 2 ทางซ้าย โดยขนาดของสนามไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากความต่างศักย์ (V) และระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ (d) ผ่านความสัมพันธ์

$$E = \frac{V}{d} \qquad (12)$$

ประจุที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าจะมีแรงอันเนื่องจากสนามไฟฟ้ากระทำ (ในที่นี้จะใช้สัญลักษณ์ F_E) โดยขนาดของแรงไฟฟ้านี้คือผลคูณระหว่างประจุ (q) กับขนาดของสนามไฟฟ้า นั่นคือ

$$F_E = qE \qquad (13)$$

เพราะฉะนั้นในการทดลองของมิลลิแกน ถ้าหยดน้ำมันมีประจุไฟฟ้าอยู่หยดน้ำมันนั้นก็จะได้รับแรงไฟฟ้ากระทำด้วย

ในที่นี้เราจะค่อยๆปรับค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับแผ่นโลหะคู่ขนาน เพื่อให้หยดน้ำมันที่เคลื่อนที่อยู่หยุดนิ่ง โดยกำหนดให้ทิศของสนามไฟฟ้ามีทิศชี้ลง นั่นคือหยดน้ำมันที่มีประจุเป็นลบอันเนื่องมาจากปริมาณอิเล็กตรอนที่หยดน้ำมันได้รับจะมีแรงไฟฟ้ากระทำในทิศขึ้นด้านบนดังแสดงในรูปที่ 2 ทางขวา ถ้าขนาดของแรงไฟฟ้ามีมากพอ หยดน้ำมันที่กำลังตกลงด้านล่างภายใต้แรงโน้มถ่วงก็จะค่อยๆ เคลื่อนที่ช้าลงแล้วหยุดนิ่ง (กรณีขนาดของแรงทางไฟฟ้ามากกว่าแรงเนื่องจากน้ำหนักของหยดน้ำมัน การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันจะกลับทิศแล้วเคลื่อนที่ในทิศขึ้นข้างบนแทน) โดยให้สังเกตว่าขณะที่หยดน้ำมันกำลังเคลื่อนที่ขึ้นแรงต้านอากาศจะมีทิศชี้ลงด้านล่างต่อต้านการเคลื่อนที่

เราสามารถคำนวณหาขนาดของแรงทางไฟฟ้าขณะที่หยดน้ำมันหยุดนิ่ง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อหยดน้ำมันเป็นศูนย์ (กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน) อาศัยแรงต่างๆ ดังในรูปที่ 2 ทางขวา (ให้ทิศขึ้นเป็นบวก) เราสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$F_E - W = 0 \qquad (14)$$

แทนค่าต่างๆ ลงไปจะได้

$$qE - mg = 0$$

$$q\left(\frac{V}{d}\right) - \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_d\right) g = 0$$

จัดรูปเพื่อหาขนาดของประจุไฟฟ้าในหยดน้ำมันจะได้

$$q = \frac{\left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_d\right) gd}{V} \qquad (15)$$

สมการที่ 15 คือสมการที่ใช้คำนวณขนาดของประจุไฟฟ้าในหยดน้ำมัน เมื่อเราทราบรัศมีของหยดน้ำมัน (r) ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน (V) และระยะห่างของแผ่นคู่ขนาน (d) กรณีที่หยดน้ำมันนั้นลอยอยู่นิ่งในสนามไฟฟ้า

ลักษณะของชุดทดลองเสมือนในการทดลองการหาค่าประจุของอิเล็กตรอนของมิลิแกนแสดงดังในรูปด้านล่าง การใช้งานส่วนต่างๆ ของชุดทดลองเสมือนมีดังต่อไปนี้

รูปที่ 3 โปรแกรมจำลองการทดลองของมิลลิแกน

หมายเลข 1 ลูกยางเพื่อฉีดหยดน้ำมัน ผู้ทำการทดลองสามารถกดเมาส์เพื่อสร้างหยดน้ำมัน โดยทุกๆ การกดหนึ่งครั้งจะมีหยดน้ำมันถูกฉีดออกมาจำนวนหนึ่งเหมือนกับการบีบลูกยาง หลังจากบีบลูกยางเป็นระยะเวลาหนึ่ง หยดน้ำมันที่ได้จะค่อยๆ เข้าสู่บริเวณที่มองเห็นได้ด้วยกล้องขยาย (หมายเลข 7)

หมายเลข 2 ปุ่มปรับโฟกัสกล้องขยาย ผู้ทำการทดลองสามารถปรับโฟกัสของกล้องขยายเพื่อทำการสังเกตหยดน้ำมันที่สนใจได้โดยการปรับโฟกัส วิธีการปรับโฟกัสคือการกดเมาส์ ถ้ากดเมาส์ที่บริเวณฝั่งซ้ายของปุ่มปรับโฟกัสจะเป็นการโฟกัสออก ถ้ากดเมาส์ที่บริเวณฝั่งขวาของปุ่มปรับโฟกัสจะเป็นการโฟกัสเข้า ผู้ทำการทดลองจะเห็นการเปลี่ยนตำแหน่งโฟกัสได้ทันทีจากภาพของกล้องขยาย (หมายเลข 7)

หมายเลข 3 สวิตช์เปิดปิดสนามไฟฟ้า ผู้ทำการทดลองสามารถเปิดปิดสนามไฟฟ้าได้โดยใช้เมาส์กดที่สวิตช์เปิดปิดสนามไฟฟ้านี้ ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความต่างศักย์ที่ใช้ซึ่งจะควบคุมด้วยแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ (หมายเลข 6)

หมายเลข 4 สวิตช์เปิด/ปิดไอออนไนเซอร์ (ionizer) สวิตช์นี้จะควบคุมการปล่อยรังสีอัลฟา เมื่อผู้ทำการทดลองเปิดสวิตช์นี้ รังสีอัลฟาจะเข้าสู่บริเวณห้องที่หยดน้ำมันกำลังเคลื่อนที่อยู่และไอออนไนซ์อากาศภายในห้อง (จึงเรียกว่าเป็นไอออนไนเซอร์) ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น ถ้าอิเล็กตรอนอิสระนี้โดนหยดน้ำมันจับไว้ก็จะทำให้ประจุของหยดน้ำมันมีค่าเปลี่ยนไป และแน่นอนว่าความเร็วปลายของหยดน้ำมันภายใต้สนามไฟฟ้าย่อมมีค่าเปลี่ยนไปด้วย วิธีนี้เป็นวิธีการที่สะดวกในการให้ประจุกับหยดน้ำมันนอกเหนือไปจากประจุที่เกิดจากหยดน้ำมันเสียดสีกับอากาศ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนประจุของหยดน้ำมันอาจเกิดขึ้นเมื่อไรไม่สามารถระบุได้เนื่องจากการชนระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับหยดน้ำมันเกิดขึ้นอย่างสุ่ม เพราะฉะนั้นการสังเกตเห็นการเปลี่ยนประจุจึงเป็นไปได้ไม่ง่ายนัก

หมายเลข 5 นาฬิกาจับเวลา ทำงานเหมือนกับนาฬิกาจับเวลาทั่วไปคือปุ่มซ้ายเป็นปุ่ม Reset ปุ่มขวาเป็นปุ่ม เริ่ม/หยุด ผู้ทำการทดลองสามารถเปลี่ยนตำแหน่งของนาฬิกาจับเวลาได้โดยใช้เมาส์กดแล้วลากไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

หมายเลข 6 ปุ่มควบคุมค่าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน ใช้ควบคุมค่าความต่างศักย์ที่ให้กับแผ่นโลหะคู่ขนาน ซึ่งเป็นการควบคุมขนาดของสนามไฟฟ้านั่นเอง วิธีใช้อาจทำได้โดยกดเมาส์ลงบนปุ่มแล้วลากซ้าย-ขวา หรือหมุนล้อเลื่อน (scroll wheel) ของเมาส์ขึ้น-ลง วิธีแรกแนะนำเพื่อใช้สำหรับการปรับค่าหยาบ เพราะการลากเมาส์ไปมาอาจทำให้ค่าเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ยากต่อการควบคุม ในขณะที่การใช้ล้อเลื่อนจะเปลี่ยนค่าแบบค่อยเป็นค่อยไป ค่าความต่างศักย์จะแสดงผลที่หน้าปัด (เข็มตีเต็มสเกลเท่ากับ 500 V)

หมายเลข 7 มุมมองผ่านกล้องขยาย ผู้ทำการทดลองจะสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของหยดน้ำมันผ่านกล้องขยายที่บริเวณนี้ (ระยะห่าง 1 ขีดของกล้องขยายเท่ากับระยะทาง 0.1 mm) โดยผู้ทำการทดลองสามารถปรับความชัดของหยดน้ำมันหนึ่งๆ ได้โดยปรับระยะโฟกัสของกล้องด้วยปุ่มปรับโฟกัสหมายเลข 2

หมายเลข 8 ใบบันทึกผลการทดลอง เมื่อกดเมาส์ลงบนใบบันทึกผลการทดลองจะนำใบบันทึกผลการทดลองมาแสดง และผู้ทำการทดลองสามารถบันทึกผลที่วัดได้ลงไป

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลก

1. เปิดโปรแกรมจำลองการทดลองของมิลลิแกน (VLab 02-Millikan.swf)
2. บีบลูกยางแล้วสังเกตหยดน้ำมันค่อยๆ ตกลงด้านล่างภายในกล้องขยาย จะเห็นได้ว่าหยดน้ำมันตกลงด้านล่างด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของหยดน้ำมัน
3. ปรับความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานไปที่ 200 V (ยังไม่ต้องเปิดสนามไฟฟ้า)
4. เลือกหยดน้ำมันที่ไม่เคลื่อนที่เร็วจนเกินไปเพื่อทำการศึกษา โดยลองปรับโฟกัสเข้า-ออก เพื่อให้เห็นหยดน้ำมันชัดเจน กำหนดให้เป็นหยดน้ำมัน A (เพื่อที่ผู้ทำการทดลองจะสามารถจับเวลาได้โดยไม่คลาดเคลื่อนมากนักควรพิจารณาหยดน้ำมันที่ใช้เวลาเคลื่อนที่มากกว่า 10 วินาที ในระยะ 1 mm ซึ่งเท่ากับ 10 ขีดบอกระยะในกล้องขยาย)

5. กำหนดระยะที่จะทำการวัดอัตราเร็วของหยดน้ำมัน (ผู้ทำการทดลองอาจกำหนดระยะทาง 1-1.5 mm ตามความต้องการ) บันทึกระยะที่กำหนดไว้ลงในผลการทดลอง
6. จับเวลาที่หยดน้ำมันที่เลือกมาขณะที่มันเคลื่อนที่ลงผ่านระยะทางที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 5 พร้อมบันทึกเวลา (t) ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. เปิดสนามไฟฟ้าโดยสวิตช์กดสวิตช์เปิด-ปิดสนามไฟฟ้า เพื่อให้หยดน้ำมันที่เลือกไว้เคลื่อนที่กลับขึ้นมายังจุดเดิมที่เริ่มจับเวลา จากนั้นปิดสนามไฟฟ้าเพื่อให้หยดน้ำมันเคลื่อนที่ภายใต้สนามโน้มถ่วง แล้วทำการจับเวลาซ้ำอีก 3 ครั้ง พร้อมบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
8. เปิดสนามไฟฟ้าและทำการปรับความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานเพื่อให้หยดน้ำมันที่กำลังเคลื่อนที่อยู่หยุดนิ่ง
9. บันทึกค่าความต่างศักย์ระหว่าแผ่นโลหะคู่ขนานที่วัดได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง ตอนที่ 2
10. เลือกหยดน้ำมันหยดใหม่อีก 5 (B,C,D,E,F) หยด และทำการทดลองในขั้นตอนที่ 4 -9
11. นำค่าเวลาวัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 7 มาหาค่าเฉลี่ย คำนวณหาอัตราเร็วปลายขาลง (v_t) จากเวลาเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ขาลง แล้วบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง ตอนที่ 1
12. อาศัยอัตราเร็วปลายขาลง (v_t) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 11 กับสมการที่ (11) และค่าคงที่ต่างๆ ที่กำหนดให้ คำนวณหารัศมีของหยดน้ำมันที่ทำการวัดอยู่ บันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง ตอนที่ 1
13. อาศัยรัศมีที่คำนวณได้ จากตารางตอนที่ 1 และสมการที่ (15) พร้อมค่าคงที่ต่างๆ ที่กำหนดให้ คำนวณหาประจุของหยดน้ำมันที่ทำการวัดอยู่ บันทึกผลลงในตาราง ตอนที่ 2 (ค่าที่ได้ควรมีค่าในช่วง $1\text{-}10\text{x}10^{-19}$ C ถ้าไม่ได้ให้ลองตรวจทานการคำนวณตัวเลขให้แน่ใจอีกครั้ง)
14. คำนวณค่าประจุพื้นฐานจากประจุบนหยดน้ำมันเป็นกี่เท่าของประจุพื้นฐานของอิเล็กตรอนซึ่งมีค่า $1.602\text{x}10^{-19}$ C ตัวอย่างเช่น ถ้าเราคำนวณประจุได้เท่ากับ $3.30\text{x}10^{-19}$ C หมายความว่าบนหยดน้ำมันที่วัดควรมีอิเล็กตรอน 2 ตัว และการวัดของเราให้ค่าประจุพื้นฐาน e เท่ากับ $1.65\text{x}10^{-19}$ C บันทึกค่าประจุพื้นฐานที่ได้ลงในตารางบันทึกผล ตอนที่ 2
15. คำนวณค่าเฉลี่ยของประจุของอิเล็กตรอนจากประจุอิเล็กตรอนที่วัดได้จากหยดน้ำมันทั้งหมด (6 หยด)
16. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าทางทฤษฎี ($e = 1.602\text{x}10^{-19}$ C)
17. สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์การทดลองและความผิดพลาดต่างๆ ในการทดลอง มีตัวแปรใดอีกหรือไม่ที่อาจทำให้การทดลองใกล้เคียงความจริงมากยิ่งขึ้น

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลก

ค่าคงที่สำหรับการคำนวณ

ความหนาแน่นของน้ำมัน $\rho_d = 875.3$ kg/m^3

ความหนาแน่นของอากาศ $\rho_{air} = 1.29$ kg/m^3

ระยะทางที่หยดน้ำมันเคลื่อนที่ …… mm

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.81$ m/s^2

สัมประสิทธิ์ความหนืดของอากาศ $\eta = 1.81\text{x}10^{-5}$ kg/m.s

ตารางบันทึกผลการทดลอง ตอนที่ 1

หยดน้ำมัน	ครั้งที่	เวลา t_1 [s]	เวลาเฉลี่ย [s]	อัตราเร็ว v_{t1} [m/s]	รัศมีของหยดน้ำมัน r [m]
A	1				
	2				
	3				
B	1				
	2				
	3				
C	1				
	2				
	3				
D	1				
	2				
	3				
E	1				
	2				
	3				
F	1				
	2				
	3				

ตัวอย่างการคำนวณหารัศมีของหยดน้ำมัน

สมมติหยดน้ำมัน A เคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1 mm วัดเวลาเฉลี่ยได้ 12.35 s อัตราเร็วเฉลี่ย(v_t) ของน้ำมันหยดนี้จะมีค่าเท่ากับ $8.10\text{x}10^{-5}$ m/s (=$1\text{x}10^{-3}$ m/12.35 s) และจากสมการที่ (11) ; $v_t = \dfrac{2gr^2(\rho_d - \rho_{air})}{9\eta}$

จัดรูปสมการเพื่อหาค่า r ; $r = \sqrt{\dfrac{9\eta v_t}{2g(\rho_d - \rho_{air})}}$

เมื่อแทนค่าคงที่ต่างๆ ลงไป จะได้ $r = \sqrt{\dfrac{9(1.81\text{x}10^{-5})(8.10\text{x}10^{-5})}{2(9.81)(875.3-1.29)}} = 8.77\text{x}10^{-7}$ m

ดังนั้นหยดน้ำมัน **A** จะมีรัศมี **r** เท่ากับ $8.77\text{x}10^{-7}$ m

ตอนที่ 2 การเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามโน้มถ่วงของโลก

ค่าคงที่สำหรับการคำนวณ

ระยะทางระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน $d = 0.70$ mm ความหนาแน่นของน้ำมัน $\rho_d = 875.3$ kg/m^3

ตารางบันทึกผลการทดลอง ตอนที่ 2

หยดน้ำมัน	รัศมีของหยดน้ำมัน r [m]	**ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน** V [V]	ประจุของหยดน้ำมัน; q [C]	จำนวนเท่าของประจุพื้นฐาน n	ค่า e [C]
A					
B					
C					
D					
E					
F					

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อปรับความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นลักษณะการเคลื่อนที่ของหยดน้ำมันจะเป็นอย่างไรและเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
2. สมมติว่านักศึกษาคนหนึ่งคำนวณหารัศมีหยดน้ำมัน(จากการทดลองตอนที่ 1) ได้เท่ากับ 1.24 μm และในการทดลองตอนที่ 2 นักศึกษาคนนี้ทำการปรับความต่างศักย์ของแผ่นโลหะคู่ขนานให้มีค่า 100 V ปรากฏว่าหยดน้ำมันนั้นลอยนิ่งอยู่กับที่ นักศึกษาคนนี้คำนวณค่าประจุไฟฟ้าของหยดน้ำมันนี้ว่ามีค่าเป็น 3 เท่าของจำนวนประจุพื้นฐานของอิเล็กตรอน จงแสดงการหาค่าประจุไฟฟ้าในหยดน้ำมันของนักศึกษาคนนี้

เอกสารอ้างอิง

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_drop_experiment
2. ftp://ftp.pasco.com/Support/Documents/English/AP/AP-8210/MillikansOilDropManual(AP-8210).pdf