ปฏิบัติการที่ 3
การทดลองของทอมสัน
(Lab 3: Thomson's Experiment)

วัตถุประสงค์

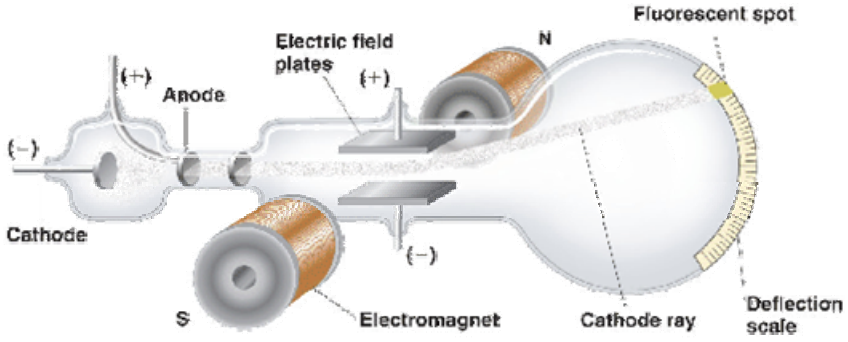
1. เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายใต้สนามแม่เหล็ก
2. เรียนรู้วิธีการหาค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนจากการทดลองของทอมสัน

อุปกรณ์

1. โปรแกรมจำลองการทดลองการทดลองของทอมสัน (VLab 03-Thomson.swf)

ทฤษฎี

การศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบของอะตอม เริ่มต้นจากปี ค.ศ. 1857 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ไกสเลอร์ (Heinrich Geissler) ได้ประดิษฐ์หลอดสุญญากาศความดันต่ำ ปลายทั้งสองของหลอดต่อเข้าความต่างสูง พบว่ามีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น และเกิดการเรืองแสงสีเขียวจางๆ ขึ้นบริเวณผนังหลอด ต่อมาได้ถูกนักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ ดัดแปลง จนนำไปสู่การค้นพบอิเล็กตรอนในที่สุด โดยเรียงลำดับการค้นพบ จากการทดลองของ ครูกส์ (William Crookes) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ซึ่งมีผลการทดลองว่า การเรืองแสงสีเขียวจะเกิดมากที่สุดบริเวณผนังหลอดด้านในที่อยู่ตรงกันข้ามกับขั้วแคโทด จึงเรียกรังสีนี้ว่า "รังสีแคโทด (Cathode Ray) " รังสีนี้จะเบี่ยงเบนในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1 การทดลองหลอดรังสีแคโทดของทอมสัน

ในปี ค.ศ. 1897 เซอร์ โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (Sir Joseph J. Thomson) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษสนใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหลอดรังสีแคโทด เขาได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าของก๊าซโดยทำการทดลองเพิ่มเติมจากแนวความคิดของครูกส์ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ ทอมสันอธิบายได้ว่า อะตอมของโลหะที่ขั้วแคโทดเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมาจากอะตอม อิเล็กตรอนมีพลังงานสูง และเคลื่อนที่ภายในหลอด ถ้าเคลื่อนที่ชนอะตอมของแก๊สจะทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมของแก๊สหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดและจากแก๊สซึ่งเป็นประจุลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด ขณะเคลื่อนที่ถ้ากระทบฉากที่ฉาบสารเรืองแสง เช่น ZnS ทำให้ฉากเกิดการเรืองแสง ซึ่งทอมสันสรุปว่ารังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลและมีประจุลบ หรือเรียกว่า อนุภาครังสีแคโทด (Cathode Ray Particle) ต่อมาเรียกใหม่ว่า "อิเล็กตรอน (Electron) " และยังได้หาค่าอัตราส่วนประจุต่อมวล (e/m) ของอิเล็กตรอนโดยใช้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าช่วยในการหา ซึ่งได้ค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.76×10^8 C/g ค่าอัตราส่วน e/m นี้จะมีค่าคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่เป็นขั้วแคโทด และไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่บรรจุอยู่ในหลอดรังสีแคโทด แสดงว่าในรังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคไฟฟ้าที่มีประจุลบเหมือนกันหมด ทอมสันจึงสรุปว่า อะตอมทุกชนิดมีอนุภาคที่มีประจุลบ

เป็นองค์ประกอบ เรียกว่า อิเล็กตรอน และถือได้ว่า "ทอมสันเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ค้นพบอิเล็กตรอน" ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1906 เซอร์ โจเซฟ จอห์น ทอมสันก็ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์สำหรับการค้นพบของอิเล็กตรอนและการนำไฟฟ้าในก๊าซ

การทดลองนี้เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของอิเล็กตรอน ซึ่งคล้ายกับการทดลองทอมสัน (J. J. Thomson) โดยใช้หลักการการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายใต้สนามแม่เหล็ก รายละเอียดของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

แรงแม่เหล็กต่อประจุที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

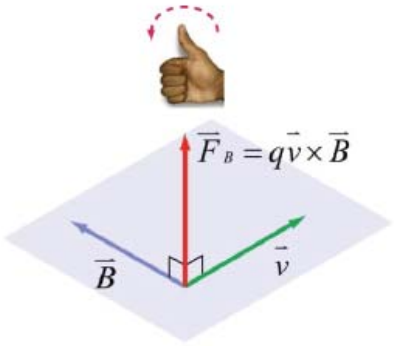
เมื่อประจุเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ประจุนั้นจะได้รับแรงแม่เหล็กกระทำ โดยขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำกับประจุนั้น (F_B) ขึ้นกับปริมาณ 4 ปริมาณประกอบไปด้วย ขนาดของประจุไฟฟ้า (q) ขนาดของสนามแม่เหล็ก (B) อัตราเร็วของวัตถุ (v) และทิศทางของความเร็วเทียบกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยเราจะให้ทิศของความเร็วทำมุม θ กับทิศของสนามแม่เหล็ก ผ่านความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$F_B = qvB\sin\theta \qquad (1)$$

เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ เพราะฉะนั้นแรงแม่เหล็กเองต้องมีทั้งขนาดและทิศทาง สมการที่ 1 บอกเพียงขนาดของแรงแม่เหล็ก ทิศทางของแรงแม่เหล็กหาได้จากการครอสเวกเตอร์ (cross vector) ระหว่างเวกเตอร์ความเร็วกับเวกเตอร์สนามเหล็ก นั่นคือในความเป็นจริงแล้วเราสามารถเขียนสมการที่ใช้ในการคำนวณแรงแม่เหล็กในรูปของสมการเวกเตอร์ได้คือ

$$\vec{F}_B = q\vec{v}\,x\,\vec{B} \qquad (2)$$

โดย $\vec{v}\,x\,\vec{B}$ คือสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่หมายถึงการครอสเวกเตอร์ระหว่างเวกเตอร์ความเร็ว ($\vec{v}$) กับเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) นั่นเอง วิธีการหาทิศของเวกเตอร์ลัพธ์ที่ได้จากการครอสเวกเตอร์ คือ เริ่มต้นจัดให้นิ้วทั้งสี่ของมือขวาชี้ไปในทิศของเวกเตอร์ความเร็ว จากนั้นม้วนนิ้วทั้งสี่เข้าหาเวกเตอร์ นิ้วโป้งคือทิศของเวกเตอร์ลัพธ์ที่ได้ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การพิจารณาทิศทางของแรงแม่เหล็กอาศัยการครอสเวกเตอร์ระหว่างเวกเตอร์ความเร็วกับเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก

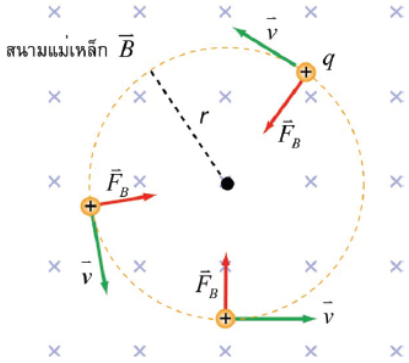
ส่วนขนาดของเวกเตอร์ก็คือที่เขียนไปแล้วในสมการที่ 1 นั่นเอง เราอาจเขียนสมการที่ 1 ในอีกรูปแบบได้เป็น

$$\left|\vec{F}_B\right| = \left|q\vec{v}\,x\,\vec{B}\right| = qvB\sin\theta \qquad (3)$$

โดย θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์ $\vec{v}$ กับเวกเตอร์ $\vec{B}$ เช่นเดิม

ลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุภายใต้สนามแม่เหล็ก

เนื่องจากแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุภายในสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากกับทิศของความเร็วเสมอ นั่นหมายความว่าถ้าประจุเคลื่อนที่ภายในสนามแม่เหล็กหนึ่งๆ อยู่บนระนาบที่ตั้งฉากทิศของสนามแม่เหล็ก ลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุภายใต้สนามแม่เหล็กนี้จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบวงกลมดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบวงกลมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 การเคลื่อนที่แบบวงกลมของประจุภายใต้สนามเหล็ก

วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะต้องมีแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_C$) โดยขนาดของแรงเข้าสู่ศูนย์กลางนี้สัมพันธ์กับมวลวัตถุ (m) อัตราเร็วของวัตถุ (v) และรัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ (r) ผ่านความสัมพันธ์

$$F_C = \frac{mv^2}{r} \qquad (4)$$

ในกรณีของการเคลื่อนที่แบบวงกลมของประจุภายใต้สนามแม่เหล็กนั้นแรงที่ทำหน้าที่เป็นแรงเข้าสู่ศูนย์กลางก็คือแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุนั่นเอง เพราะฉะนั้นอาศัยขนาดของแรงแม่เหล็กในสมการที่ 3 (ในกรณีนี้มุม $\theta = 90^o$ นั่นคือ $\sin\theta = 1$) และสมการที่ 4 เราสามารถเขียนได้ว่า

$$F_C = F_B = qvB = \frac{mv^2}{r} \qquad (5)$$

หรือ

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{rB} \qquad (6)$$

นั่นคืออัตราส่วนระหว่างประจุกับมวลของอนุภาคสามารถคำนวณได้จากอัตราเร็วของวัตถุ รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่และขนาดของสนามแม่เหล็กที่ประจุนั้นเคลื่อนที่อยู่

อัตราเร็วของอนุภาคจากการเร่งผ่านความต่างศักย์

ในกรณีที่เราต้องการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของอนุภาคอิเล็กตรอน โดยปกติแล้วเราไม่สามารถวัดอัตราเร็วของอิเล็กตรอนได้โดยตรง แต่เราสามารถคำนวณได้ผ่านค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนก่อนที่อิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าสู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้าอิเล็กตรอนที่มีประจุไฟฟ้า e ถูกเร่งจากหยุดนิ่งด้วยความต่างศักย์ V อิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณ eV โดยพลังงานนี้จะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน นั่นคือ

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 \tag{7}$$

เพราะฉะนั้นอัตราเร็วของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าสู่บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับ

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \tag{8}$$

แทนค่าลงไปในสมการที่ 6 โดยให้ประจุ q คือประจุของอิเล็กตรอน e จะได้ว่า

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB} = \frac{\sqrt{2eV/m}}{rB} \tag{9}$$

ยกกำลังสองทั้งสมการ

$$\left(\frac{e}{m}\right)^2 = \frac{2V(e/m)}{r^2B^2} \tag{10}$$

จัดรูปอีกครั้งจะได้ว่า

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{r^2B^2} \tag{11}$$

นี่คือสมการที่อธิบายอัตราส่วนของประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนในรูปของความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอน รัศมีความโค้งและขนาดของสนามแม่เหล็กที่ใช้

สนามแม่เหล็กจากขดลวด

สนามแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลองนี้มาจากขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz coil) โดยขดลวดนี้ประกอบด้วยขดลวดวงกลมเหมือนกันสองวงวางตัวอยู่ที่สองด้านของบริเวณที่ต้องการทำการทดลองอย่างสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 4 ภายในขดลวดมีกระแสไฟฟ้าไหลโดยกระแสในแต่ละวงขดลวดไหลในทิศทางเดียวกัน สนามแม่เหล็กที่บริเวณใจกลางของขดลวดเฮล์มโฮลทซ์สามารถประมาณว่ามีลักษณะสม่ำเสมอ

รูปที่ 4 ขดลวดเฮล์มโฮลทซ์

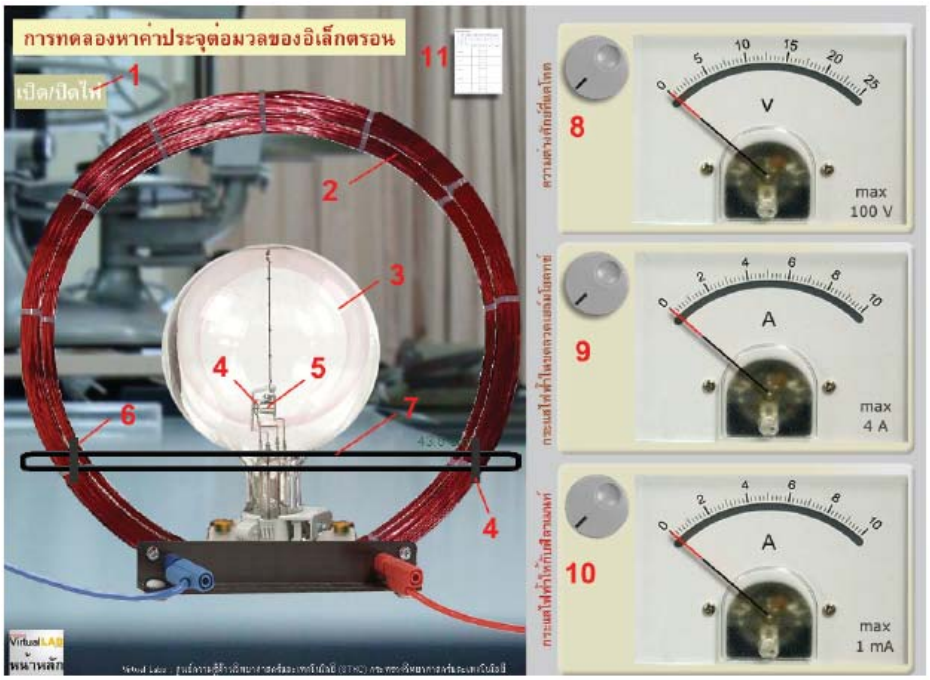
การคำนวณหาสนามแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดเฮล์มโฮลทซ์นั่นมีความซับซ้อนและเกิดกว่าที่จะอาศัยทฤษฎีทางฟิสิกส์ในระดับมัธยม เพราะฉะนั้นในที่นี้จะนำผลที่ได้มาแสดงโดยไม่กล่าวถึงที่มา ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดมีขนาด I และรัศมีของขดลวดมีค่าเท่ากับ R ขนาดของสนามแม่เหล็กที่บริเวณใจกลางสามารถคำนวณได้จาก

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_o NI}{R} \qquad (12)$$

เมื่อ μ_0 เป็นค่าคงตัว มีค่าเท่ากับ $1.26\text{x}10^{-6}$ $T \cdot m$ A ส่วน N คือจำนวนรอบของในแต่ละข้างของวงขดลวด ทิศของสนามแม่เหล็กจะขนานกับแกนตั้งฉากของระนาบขดลวด ในการทดลองนี้เราจะใช้ขดลวดที่มีจำนวนรอบเท่ากับ 100 รอบ และรัศมีของขดลวดเท่ากับ 25 cm (0.25 m)

สรุปก็คือ โดยอาศัยสมการที่ 11 เราสามารถหาค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนได้โดยการวัดความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอน V รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน r และขนาดของสนามแม่เหล็กที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ B โดยขนาดของสนามแม่เหล็กนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 12 นั่นเอง

ลักษณะของชุดทดลองเสมือนในการทดลองการหาค่าอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนของทอมสันแสดงดังในรูปด้านล่าง การใช้งานส่วนต่างๆ ของชุดทดลองเสมือนมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 โปรแกรมจำลองการทดลองหาค่าอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลอิเล็กตรอนของทอมสัน

หมายเลข 1 สวิตช์เปิด-ปิดไฟ สวิตช์สำหรับเปิด-ปิดไฟภายในห้องทดลอง ทั้งนี้การปิดไฟจะทำให้ผู้ทดลองสามารถมองเห็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้ง่ายขึ้น ผู้ใช้สามารถสวิตช์ไฟได้โดยใช้การคลิกเมาส์

หมายเลข 2 ขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ แสดงตำแหน่งของขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ ปริมาณกระแสที่ไหลในขดลวดสามารถควบคุมได้โดยอาศัยการปรับที่แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า (หมายเลข 8) จำนวนขดลวดในการทดลองนี้คือ 100 รอบ และรัศมีของขดลวดมีค่าเท่ากับ 25 cm

หมายเลข 3 หลอดแก้ว เป็นบริเวณที่แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยภายในบรรจุฟิลาเมนท์ที่ให้อิเล็กตรอนและขั้วแคโทด-อาโนดที่มีความต่างศักย์สำหรับเร่งอิเล็กตรอน เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนปรากฏให้เห็นได้จากการที่ภายในหลอดแก้วมีไอปรอทอยู่เล็กน้อย เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนอะตอมปรอทในไอปรอทอะตอมปรอทจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น เมื่ออะตอมเปลี่ยนสภาวะกลับสู่สภาวะพื้นอะตอมจะปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของโฟตอนซึ่งกลายเป็นแสงให้ผู้ทำการทดลองสามารถเห็นได้

หมายเลข 4 ฟิลาเมนท์ ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนอิสระโดยปริมาณของอิเล็กตรอนที่ได้ขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้กับฟิลาเมนท์ โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าสามารถควบคุมได้โดยการปรับที่แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าหมายเลข 10

หมายเลข 5 ขั้วอาโนด-แคโทด เป็นบริเวณที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนที่ได้จากฟิลาเมนท์ โดยอัตราเร็วของอิเล็กตรอนขึ้นกับความต่างศักย์ระหว่างขั้วอาโนด-แคโทด โดยความต่างศักย์นี้สามารถปรับค่าได้ที่แหล่งกำเนิดความต่างศักย์หมายเลข 8

หมายเลข 6 ตัวเลื่อนสำหรับวัดระยะ เป็นอุปกรณ์เพื่อช่วยในการวัดรัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ตัวเลื่อนมีสองตัวที่สามารถเลื่อนซ้าย-ขวาบนรางวัด (หมายเลข 5) ได้ ผู้ทำการทดลองสามารถเลื่อนตัวเลื่อนได้โดยการกดเมาส์แล้วลากไปมา

หมายเลข 7 รางวัด เป็นรางที่ติดตั้งตัวเลื่อนสำหรับวัดระยะ (หมายเลข 4) รางวัดนี้สามารถเลื่อนขึ้นลงในแนวดิ่งได้โดยการกดเมาส์แล้วลากในทิศที่ต้องการ

หมายเลข 8 แหล่งกำเนิดความต่างศักย์ที่ขั้วแคโทด ควบคุมค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและอาโนดโดยอาศัยปุ่มหมุนเพื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ ปุ่มหมุนนี้สามารถควบคุมได้โดยการกดเมาส์แล้วลากซ้าย-ขวา หรือในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนค่าทีละน้อยๆ ก็สามารถใช้ล้อหมุนของเมาส์ (scroll wheel) ได้

หมายเลข 9 แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์โดยใช้ปุ่มหมุนเพื่อปรับขนาดของกระแสไฟฟ้า ปุ่มหมุนนี้สามารถควบคุมได้โดยการกดเมาส์แล้วลากซ้าย-ขวา หรือในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนค่าทีละน้อยๆ ก็สามารถใช้ล้อหมุนของเมาส์ (scroll wheel) ได้

หมายเลข 10 แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าในฟิลาเมนท์ ใช้ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้กับฟิลาเมนท์เพื่อสร้างอิเล็กตรอนอิสระ ผู้ทำการทดลองสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านให้กับฟิลาเมนท์ได้โดยใช้ปุ่มหมุน โดยปุ่มหมุนนี้สามารถควบคุมได้โดยการกดเมาส์แล้วลากซ้าย-ขวา หรือในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนค่าทีละน้อยๆ ก็สามารถใช้ล้อหมุนของเมาส์ (scroll wheel) ได้

หมายเลข 11 ใบบันทึกผลการทดลอง เมื่อคลิกเมาส์ลงบนใบบันทึกผลการทดลองจะนำใบบันทึกผลการทดลองมาแสดง และผู้ทำการทดลองสามารถบันทึกผลที่วัดได้ลงไป

วิธีการทดลอง

1. เปิดโปรแกรมจำลองการทดลองของทอมสัน VLab 03-Thomson.swf
2. ปรับค่ากระแสไฟฟ้าในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ (I) และความต่างศักย์ (V) ไว้ที่ค่าเริ่มต้นค่าหนึ่ง (ในที่นี้กำหนดให้ I = 1.2 A และ V = 40 V) จากนั้นเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ให้กับฟิลาเมนท์จนกระทั่งเริ่มเห็นวงโคจรของอิเล็กตรอนภายในหลอดทดลอง ผู้ทำการทดลองจะเห็นวงโคจรจะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อปิดไฟห้องทดลอง (หมายเลข 1)
3. ปรับค่ากระแสไฟฟ้าในขดลวดและความต่างศักย์ที่แคโทดจนได้วงโคจรของอิเล็กตรอนอยู่บริเวณตรงกลางหลอดแก้ว บันทึกค่าที่ใช้ลงในใบบันทึกผลการทดลอง
4. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรของอิเล็กตรอนโดยเลื่อนรางวัดที่วางอยู่ด้านหน้าชุดทดลอง

5. คำนวณรัศมีความโค้งจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้ บันทึกผลลงในใบบันทึกผลการทดลอง (ตารางที่ 1.1)
6. จากค่ารัศมีความโค้ง, กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ที่ใช้ คำนวณหาอัตราส่วนของประจุกับมวลของอิเล็กตรอนตามที่อธิบายในภาคทฤษฎี บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.1
7. ทำการทดลองในขั้นตอนที่ 3-6 ซ้ำโดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้าในขดลวดและความต่างศักย์ที่ขั้วแคโทดที่แตกต่างกันออกไป ผู้ทำการทดลองควรทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.2-1.5
8. หาค่าเฉลี่ยของค่าประจุต่อมวลที่ได้จากการทำซ้ำทั้งหมดแล้วบันทึกผลลงในใบบันทึกผลการทดลอง
9. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าทางที่ทอมสันวัดได้ ($e/m = 1.76 \times 10^8$ C/g)
10. สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์การทดลองและความผิดพลาดต่างๆ ในการทดลอง มีตัวแปรใดอีกหรือไม่ที่อาจทำให้การทดลองใกล้เคียงความจริงมากยิ่งขึ้น

******* หมายเหตุ เนื่องจากการทดลองนี้มีปริมาณที่ปรับเปลี่ยนค่าได้สามตัวคือกระแสไฟฟ้าในขดลวด, ความต่างศักย์ที่เร่งอิเล็กตรอน และ รัศมีความโค้ง ดังนั้นการทดลองอาจทำในรูปแบบอื่นได้ ตัวอย่างเช่นที่รัศมีความโค้งหนึ่งๆ ผู้ทำการทดลองสามารถปรับเปลี่ยนค่าของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่แคโทดเป็นค่าต่างๆ จนวงโคจรกลับมามีค่ารัศมีเท่าเดิมอีกก็ได้ ก่อนที่จะเปลี่ยนไปทำการทดลองกับรัศมีความโค้งค่าอื่นๆ ต่อไป เป็นต้น

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ค่าคงที่สำหรับการคำนวณ

จำนวนรอบของในแต่ละข้างของขดลวดเฮล์มโฮลทซ์; N = 100 รอบ รัศมีของขดลวดเฮล์มโฮลทซ์; R = 0.25 m

ค่าสภาพซึมซาบทางแม่เหล็ก $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.26 \times 10^{-6}$ T·m·A

ตารางที่ 1.1 **ความต่างศักย์ที่แคโทด** ; V = 40 Volt

กระแสไฟฟ้าในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ I (A)	ครั้งที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง d [m]	รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ r [m]	รัศมีความโค้งเฉลี่ย [m]	ขนาดของสนามแม่เหล็ก B [T]	อัตราส่วนของประจุต่อมวล e/m [C/kg]
1.2	1					
	2					
	3					
1.6	1					
	2					
	3					
2.0	1					
	2					
	3					
2.4						
				ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนประจุต่อมวล		

ตารางที่ 1.2-1.5 **เปลี่ยนค่าความต่างศักย์ที่แคโทดและกระแสไฟฟ้าในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์เป็น** 50, 60, 70, 80 V **และ** 1.2, 1.6, 2.0, 2.4 A **ตามลำดับ**

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนประจุต่อมวล

สมมติจากการทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้าในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ I = 1.6 A และความต่างศักย์ V = 40V และวัดค่าเฉลี่ยรัศมีวงโคจรได้ $r = 3.6x10^{-2}$ m

จากสมการที่ (12) ขนาดของสนามแม่เหล็ก B มีค่าเท่ากับ; $B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_o NI}{R}$

เมื่อ N = 100 รอบ และ R = 0.25 m จะได้ ; $B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{(1.26x10^{-6})(100)(1.6)}{(0.25)} = 5.77x10^{-4}$ T

และเมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ (11) จะได้อัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวล ;

$$\frac{e}{m} = \frac{2(40)}{(3.6x10^{-2})^2(5.77x10^{-4})^2} = 1.85x10^{11} \text{ C/kg} = 1.85x10^{8} \text{ C/g}$$

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองเมื่อ**<u>เพิ่มค่าความต่างศักย์</u>**ที่แคโทดในขณะที่ตัวแปรอื่นคงที่ จะพบว่ารัศมีความโค้งของอิเล็กตรอนเป็นอย่างไรและเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
2. จากการทดลองเมื่อ**<u>ลดค่ากระแสไฟฟ้า</u>**ในขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ในขณะที่ตัวแปรอื่นคงที่ จะพบว่ารัศมีความโค้งของอิเล็กตรอนเป็นอย่างไรและเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

เอกสารอ้างอิง

1. http://en.wikipedia.org/wiki/J._J._Thomson
2. http://physicslabs.phys.cwru.edu/files/pdf/em/EOM.pdf