บทที่ 2

คุณสมบัติเบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตและเครื่องกลไฟฟ้าสถิต

2.1 ประจุไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการขัดสี

ไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นได้หลายกรณี เช่น เกิดจากการขัดสี เกิดจากการเหนี่ยวนำ เกิดจากอำนาจความร้อน เกิดจากการฉายรังสีคลื่นสั้นลงบนวัตถุ แต่ทุกกรณีเกิดจากสาเหตุเดียวกัน คือ เกิดจากการถ่ายเทอิเลคตรอนทั้งสิ้น สำหรับการทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการขัดสี ปรากฏเป็นความจริงว่า เมื่อเรานำวัตถุต่างชนิดกันที่เหมาะสมมาขัดสี (ถู)กันแล้ว วัตถุทั้งสองนั้นต่างจะมีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นบนผิวของวัตถุที่นำมาถูกัน และวัตถุทั้งสองต่างก็แสดงอำนาจไฟฟ้าและดูดของเบา ๆ ได้ ในวันที่มีอากาศแห้งได้ทดลองถูหวีพลาสติกด้วยผ้าแพรอย่างแรง ๆ หลาย ๆ ครั้ง แล้วนำหวีที่ถูแล้วไปล่อใกล้ชิ้นกระดาษชิ้นเล็ก ๆ จะเห็นชิ้นกระดาษถูกดูดเข้าหาหวี แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ขณะนี้หวีมีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น ฉะนั้นเมื่อนำวัตถุต่างชนิดที่เป็นคู่ที่เหมาะสมมาทำการถูกันแล้วย่อมจะปรากฏมีประจุไฟฟ้าขึ้นบนผิวของวัตถุแต่ละคู่นั้น กล่าวคือเกิดมีไฟฟ้าสถิตขึ้นบนผิวของวัตถุ และประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ จะเป็นประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเสมอ นักวิทยาศาสตร์ได้ทำบัญชีสารต่าง ๆ ไว้ประมาณ 20 ชนิด เรียงตามลำดับหมายเลขของสารที่เสียอิเลคตรอนได้ง่ายที่สุดไปหาเสียอิเลคตรอนยากที่สุด บัญชีสารเหล่านี้ เรียกว่า ฟิคร์ชันนอล ออเดอร์ (Frictional Order) เมื่อนำสารหมายเลขน้อยถูกับสารหมายเลขมาก สารที่มีหมายเลขลำดับน้อยจะเกิดประจุบวกสารที่มีหมายเลขมากจะเกิดประจุลบ

1. ขนสัตว์
2. ขนแกะหรือผ้าสักหลาด

3. ไม้
4. เชลแลค (Shellac)
5. ยางสน
6. ครั่ง
7. แก้วผิวเกลี้ยง
8. ผ้าฝ้ายหรือสำลี
9. กระดาษ
10. ผ้าแพรลื่น
11. แก้วผิวขรุขระ
12. ผิวหนัง
13. โลหะต่าง ๆ
14. ยางอินเดีย (India rubber)
15. อำพัน
16. กำมะถัน
17. เอโบไนท์ (Ebonite)
18. ยางกัททะเพอชา (Gutta-Percha)
19. ผ้าแพรอะแมลกะเมทด์ (Amalgamated)
20. เซลลูลอยด์ (Celluloid)

2.2 ตัวนำไฟฟ้า (Conductor) และฉนวนไฟฟ้า (Insulator)

ตัวนำไฟฟ้า คือ วัตถุที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้โดยสะดวกได้แก่ โลหะต่างๆ สารละลายของกรด ด่าง และ เกลือ เป็นต้น

ฉนวนไฟฟ้า คือ วัตถุที่ไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไปได้โดยสะดวกหรือไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไปได้ เช่น กระเบื้องเคลือบ ยางเอโบไนท์ (Ebonite) เป็นต้น

นอกจากจะมีตัวนำไฟฟ้า และฉนวนไฟฟ้าแล้วยังมีสารอีกชนิดหนึ่งซึ่งเราเรียกว่า สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors) เช่น ธาตุ ซิลิกอน และ เจอมาเนียม เป็นต้น

ไม่มีวัตถุใดเลยที่เป็นฉนวนที่ดีที่สุดสมบูรณ์จริงๆ วัตถุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ประจุไฟฟ้าอาจผ่านไปได้ดีก็ได้ ถ้าหากว่ามีแรงดันไฟฟ้าสูงมากพอ วัตถุพวกฉนวนไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมบัติของการเป็นฉนวนไฟฟ้ากลับลดลง คือ ประจุไฟฟ้าไปได้ละดวกขึ้น ส่วนวัตถุพวกตัวนำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมบัติของการเป็นตัวนำไฟฟ้ากลับลดลง คือ ประจุไฟฟ้าผ่านไปได้ยาก

ในการทดลองเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต เมื่อต้องใช้วัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้ามาใช้ทดลอง จึงต้องทำด้ามจับหรือหุ้มปลายหนึ่งของวัตถุตัวนำนั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า เพื่อใช้จับเสมอเพื่อกันมิให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่หนีระหว่างวัตถุตัวนำนั้นกับผิวโลกโดยผ่านมาทางมือและร่างกายเราได้ การที่ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ระหว่างวัตถุตัวนำและผิวโลกจนปรากฏว่าไม่มีประจุไฟฟ้าเหลืออยู่บนวัตถุตัวนำเลยนั้น เราเรียกวิธีการ เช่นนี้ว่า การต่อลงดิน วัตถุตัวนำใดก็ตามขณะที่มีประจุไฟฟ้าอยู่นั้น ถ้าเราทำการต่อลงดิน (โดย โยงวัตถุตัวนำนั้นลงผิวโลกด้วยลวดตัวนำ) แล้ว วัตถุตัวนำนั้น ๆ จะสูญเสียประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ไปจนหมดสิ้น และตัวเองก็จะกลายเป็นกลางไปทันที

ตัวนำไฟฟ้า (เรียงลำดับจากตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดลงไปตามลำดับ)	พวกกึ่งตัวนำไฟฟ้ากึ่งฉนวนไฟฟ้า (Partial conductor and insulator) เรียงลำดับจากความเป็นตัวนำไฟฟ้ามากไปหาน้อย)	ฉนวนไฟฟ้า (เรียงลำดับไปหาฉนวนไฟฟ้าที่ดีที่สุด)
1. เงิน 2. ทองแดง 3. ทองคำ 4. อลูมิเนียม 5. สังกะสี 6. ปลาตินัม 7. เหล็ก 8. ปรอท 9. แท่งถ่าน 10. สารละลายของกรด 11. น้ำธรรมดา 12. ร่างกาย	13. ผ้าลินิน 14. ผ้าฝ้ายหรือสำลี 15. ไม้ 16. หินอ่อน 17. กระดาษ 18. งาช้าง	19. น้ำบริสุทธิ์ 20. น้ำมันต่าง ๆ 21. กระเบื้องเคลือบ 22. ขนสัตว์ 23. ไหม 24. กำมะถัน 25. ยาง 26. เชลแลค (Shellac) 27. ครั่ง 28. เอโบไนท์ (Ebonite) 29. เทียนไข 30. แก้ว 31. อากาศแห้ง ๆ

2.3 <u>การต่อลงดิน (Earth)</u>

เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าเป็นระดับทางไฟฟ้าของจุด ๆ หนึ่งในสนามไฟฟ้า เป็นสิ่งที่แสดงถึงระดับทางพลังงานศักย์ของประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่เข้าไปสู่จุดนั้น ในการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้าจากจุด ๆ หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้า ถ้าพลังงานศักย์ในประจุมีค่าสูงขึ้น แสดงว่าประจุเคลื่อนไปสู่จุดที่มีศักย์สูงกว่า ในทางตรงข้ามถ้าประจุลดพลังงานศักย์ลง แสดงว่าประจุเคลื่อนไปสู่จุดที่มีศักย์

ต่ำกว่า เปรียบเสมือนยกวัตถุขึ้นสู่ที่สูงวัตถุจะเกิดพลังงานศักย์จำนวนหนึ่งแต่ถ้าปล่อยวัตถุให้ตกลงมาที่ต่ำ วัตถุจะเสียพลังงานศักย์ที่มีอยู่ไปจำนวนหนึ่งเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุผลนี้เราจึงนำมาใช้เรื่องการต่อลงดิน (Earth) คือเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่พื้นโลกนั่นเอง

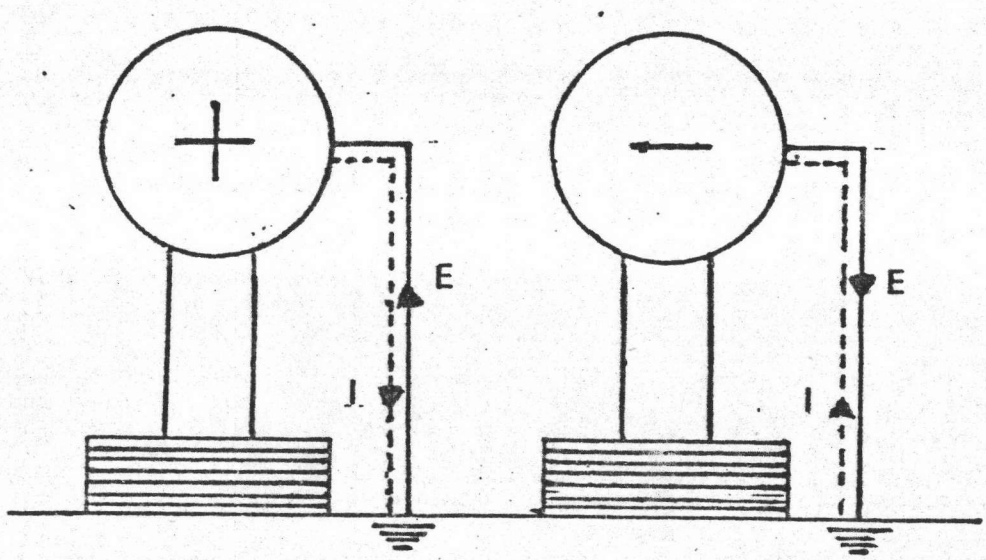
เนื่องจากโลกมีขนาดใหญ่โตมาก จึงมีความจุไฟฟ้ามากเมื่อได้รับประจุหรือเสียประจุเป็นจำนวนเท่าไรก็ตาม จะไม่ทำให้โลกอยู่ในสถานะที่มีศักย์ไฟฟ้าได้เลย คือถือได้ว่าโลกมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ คำนวณได้จากสูตร

$$V = Q/r \qquad (2.1)$$

แต่รัศมีของโลกมีค่าเท่ากับ 6.37×10^{6} เซนติเมตร ดังนั้น

$$V \text{ (ของโลก)} = Q/6.37 \times 10^{6}$$

$$= Q/\infty = 0 \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 แสดงการต่อลงดินของวัตถุที่มีประจุ

ด้วยเหตุนี้ เมื่อต่อวัตถุตัวนำลงดิน วัตถุนั้นจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เท่ากับโลก ถ้าวัตถุมีประจุบวกอิเล็คตรอนจากดินจะไหลขึ้นสู่วัตถุทำให้ประจุบวกที่มีอยู่เป็นกลาง กรณีนี้อาจจะพูดได้ว่าประจุบวกไหลลงดินก็ได้ ถ้ามีวัตถุประจุไฟฟ้าลบ อิเล็คตรอนหรือประจุลบจะไหลจากวัตถุลงดินหมดและวัตถุจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ การไหลของประจุไฟฟ้าจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในตัวนำที่ต่อลงดิน สรุปว่า

1. วัตถุใด หรือ จุดหนึ่งจุดใดถูกต่อลงดิน วัตถุนั้น หรือจุดนั้นจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์
2. อิเล็คตรอน หรือ ประจุลบเท่านั้นที่เคลื่อนที่ได้จริงบนวัตถุตัวนำ ซึ่งเป็นโลหะและเคลื่อนที่จากจุดที่มีศักย์ต่ำไปสู่จุดที่มีศักย์สูงกว่า

2.4 สนามไฟฟ้า - ไดอิเลคตริก - เส้นแรงไฟฟ้า

เมื่อมีวัตถุซึ่งมีประจุไฟฟ้าวางอยู่ ณ ที่ใดก็ตาม ประจุไฟฟ้าที่มีอยู่บนวัตถุนั้นย่อมจะส่งอำนาจไฟฟ้าไปรอบ ๆ วัตถุนั้น ๆ และเราเรียก บริเวณรอบ ๆ ประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าสามารถส่งอำนาจไปถึงได้นั้นว่า สนามไฟฟ้า (electric field) ตามจุดต่าง ๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าย่อมจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าต่าง ๆ กัน จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นเจ้าของสนามไฟฟ้านั้นจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่อยู่ห่างไกลออกไปนอกจากนั้นตามจุดต่าง ๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าย่อมจะปรากฏมีศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่าง ๆ กันด้วย ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่เป็นชนิดเดียวกันกับศักย์ไฟฟ้าอันเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของสนามไฟฟ้านั้น จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นเจ้าของสนามไฟฟ้าจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่อยู่ห่างไกลออกไป ถ้าเรานำประจุไฟฟ้าอื่นเข้ามาวางในสนามไฟฟ้าใด ย่อมจะเกิดมีแรงกระทำขึ้นบนประจุไฟฟ้าที่นำมาวางในสนามไฟฟ้านั้นเสมอไป

เมื่อนำแผ่นวัตถุฉนวนไฟฟ้ามาวางกั้นในสนามไฟฟ้า จะปรากฏผลว่า อำนาจไฟฟ้าจะผ่านทะลุแผ่นวัตถุฉนวนไฟฟ้าไปยังอีกทางด้านหนึ่งได้ เมื่อผ่านทะลุมาแล้วอำนาจไฟฟ้าทางด้านนี้จะ

น้อยลง ซึ่งจะน้อยลงมากน้อยเพียงใดย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแผ่นวัตถุฉนวนไฟฟ้านั้น ๆ ซึ่งเรียกแผ่นวัตถุฉนวนไฟฟ้าที่ขวางกั้นอยู่ในสนามไฟฟ้านั้นว่า ไดอิเลคตริก (dielectric) ไดอิเลคตริกย่อมเป็นฉนวนไฟฟ้าเสมอฉะนั้น ฉนวนไฟฟ้าและไดอิเลคตริกก็คือวัตถุเดียวกัน เมื่อเรียกวัตถุนั้นว่าไดอิเลคตริกก็หมายความถึงว่า เป็นวัตถุที่วางขวางกั้นในสนามไฟฟ้า และยอมให้อำนาจไฟฟ้า (ไม่ใช่ประจุไฟฟ้า) ผ่านตัวเองไปได้ ครั้นเมื่อเรียกว่าฉนวนไฟฟ้าแล้วก็หมายความถึงว่าเป็นวัตถุที่ไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไปได้สะดวกหรือไม่ให้ผ่านไปเลย โดยปกติในเรื่องไฟฟ้าสถิตอากาศจะทำหน้าที่เป็นไดอิเลคตริค (dielectric) เสมอ

เส้นแรงไฟฟ้า (Line of electric force) เส้นแรงไฟฟ้ามิได้ปรากฏอยู่จริง ๆ เรากำหนดกันขึ้นก็เพื่อความสะดวกในการศึกษาเท่านั้น คือกำหนดกันว่า สนามไฟฟ้าประกอบด้วยเส้นแรงไฟฟ้าแผ่กระจายอยู่โดยทั่วบริเวณ โดยกำหนดเป็นหลักเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันว่าเมื่อวางประจุไฟฟ้าบวกอิสระลงในสนามไฟฟ้า ถ้าประจุไฟฟ้าบวกอิสระนั้น สามารถจะเคลื่อนที่ไปได้แล้ว แนวทางที่ประจุไฟฟ้าบวกอิสระนี้เคลื่อนที่ไปกำหนดว่า เป็นเส้นแรงไฟฟ้าและทิศทางของเส้นสัมผัสซึ่งสัมผัสเส้นแรงไฟฟ้าที่จุดใด ๆ ก็คือทิศทางตรงของสนามไฟฟ้า ณ จุดนั้น โดยข้อกำหนดอันนี้ เส้นแรงไฟฟ้าจึงย่อมมีลักษณะเป็นเส้นโค้งอยู่ระหว่างประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ ในการเขียนเส้นแรงไฟฟ้า ให้ถือเกณฑ์ว่า เส้นแรงไฟฟ้าพุ่งออกจากประจุไฟฟ้าบวกและพุ่งเข้าสู่ประจุไฟฟ้าลบ จึงให้ลงหัวลูกศรออกจากประจุไฟฟ้าบวก และลงหัวลูกศรเข้าสู่ประจุไฟฟ้าลบ เส้นแรงไฟฟ้ามีคุณสมบัติที่ควรทราบคือ

1. เส้นแรงไฟฟ้าพุ่งออกจากประจุไฟฟ้าบวก และพุ่งเข้าสู่ประจุไฟฟ้าลบและเส้นแรงไฟฟ้าจะมีปรากฏอยู่อย่างหนาแน่นในบริเวณใกล้ประจุไฟฟ้าส่วนในบริเวณห่างออกไป เส้นแรงไฟฟ้าจะกระจายอยู่ห่าง ๆ กัน นี่ย่อมแสดงให้เห็นว่า สนามไฟฟ้าโดยรอบประจุไฟฟ้ามีค่าไม่สม่ำเสมอ คือบริเวณใกล้ประจุไฟฟ้ามีความแรงของสนามไฟฟ้ามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ.จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่าความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ จุดที่ไกลออกไป

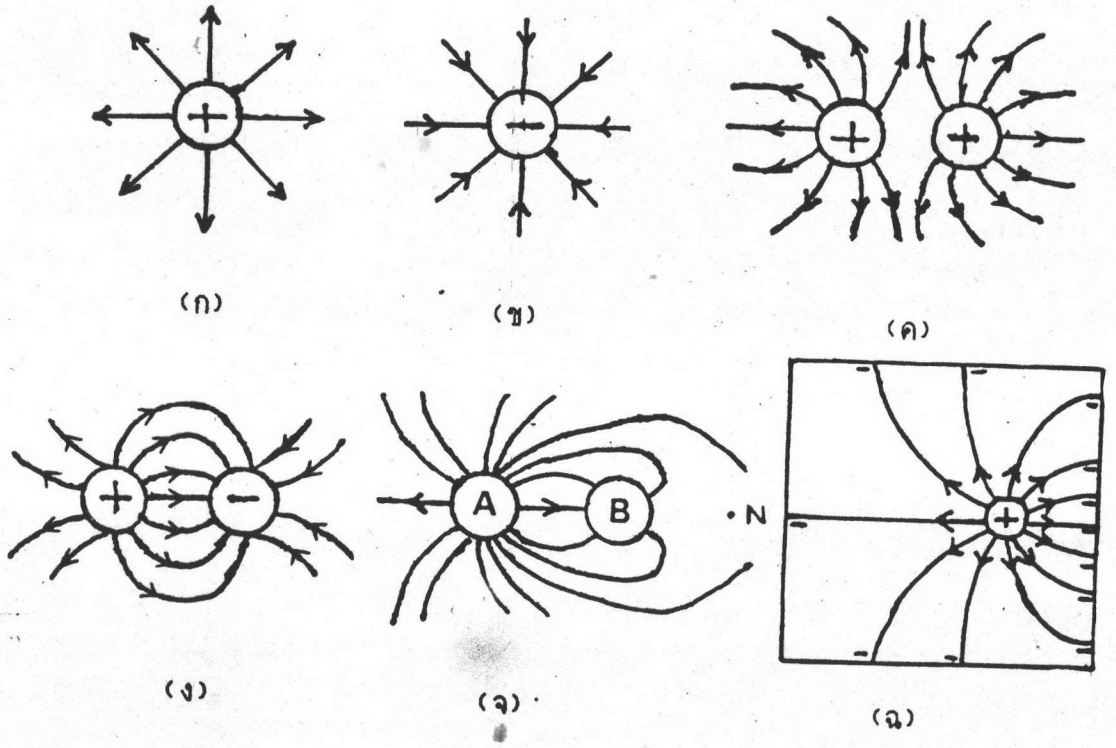
2. เส้นแรงไฟฟ้าแต่ละเส้น จะไม่ตัดกันเลย

3. เส้นแรงไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน ไม่เสริมเป็นแนวเดียวกันแต่จะเบนออกจากกันเป็นคนละแนว ส่วนเส้นแรงไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันจะเสริมเป็นแนวเดียวกัน

4. เส้นแรงไฟฟ้าที่พุ่งออกจากหรือพุ่งเข้าสู่ผิวของวัตถุ ย่อมตั้งได้ฉากกับผิวของวัตถุนั้น ๆ เสมอ

5. เส้นแรงไฟฟ้าจะไม่พุ่งผ่านวัตถุตัวนำเลย เส้นแรงไฟฟ้าจะสิ้นสุดอยู่เพียงที่ผิวของวัตถุตัวนำเท่านั้น

6. สำหรับวัตถุตัวนำรูปทรงกลมกลวงที่มีประจุไฟฟ้า ถ้าไม่ปรากฏมีวัตถุอื่นที่มีประจุไฟฟ้าบรรจุอยู่ภายในทรงกลมกลวงนั้นแล้ว จะไม่มีเส้นแรงไฟฟ้าปรากฏอยู่ภายในทรงกลมกลวงนั้น ๆ เลย เส้นแรงไฟฟ้าจะมีปรากฏสิ้นสุดอยู่เพียงที่ผิวนอกของทรงกลมกลวงเท่านั้น และเส้นแรงไฟฟ้าทุกเส้นจะมีแนวเข้าสู่จุดศูนย์กลางของทรงกลม ในกรณีเช่นนี้ ภายในทรงกลมกลวงจะไม่มีสนามไฟฟ้า ไม่มีแรงกระทำไฟฟ้ากล่าวคือ ความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์นั่นเอง



รูป 2.2 แสดงรูปร่างของเส้นแรงไฟฟ้าในลักษณะต่าง ๆ

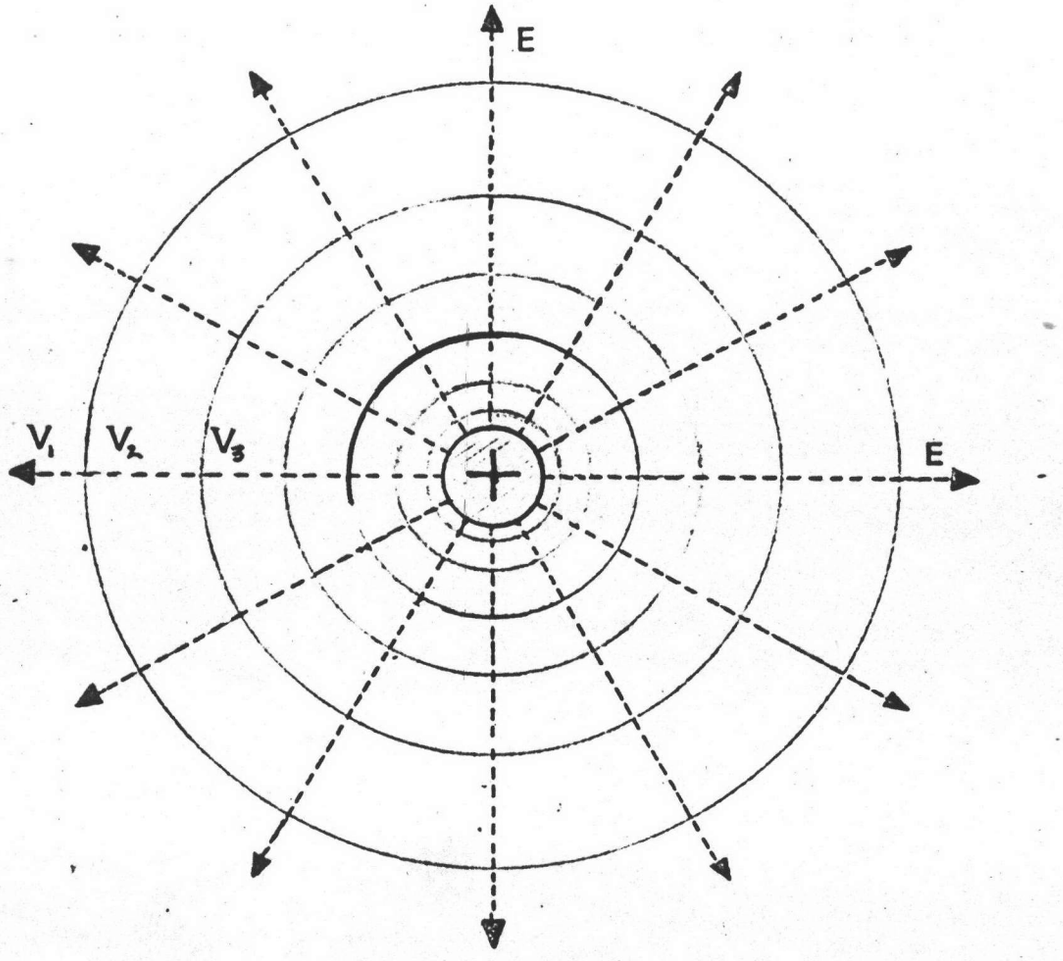
รูป (ก) แสดงเส้นแรงไฟฟ้าที่พุ่งออกจากประจุไฟฟ้าบวกอิสระ รูป (ข) แสดงเส้นแรงไฟฟ้าที่พุ่งเข้าสู่ประจุไฟฟ้าลบอิสระ รูป (ค) แสดงเส้นแรงไฟฟ้าที่มีปรากฏเมื่อประจุไฟฟ้าบวกที่มีปริมาณเท่า ๆ กันวางอยู่ใกล้กัน พึงสังเกตว่ามีบริเวณเล็ก ๆ อยู่ระหว่างประจุไฟฟ้าบวกทั้งสอง ซึ่งเส้นแรงไม่ผ่านเลย จุดกลางของบริเวณนี้จะเป็นจุดซึ่งมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ จุดนี้เรียกว่า จุดสะเทิน (Neutral point) และสังเกตด้วยว่า เส้นแรงไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน ไม่เสริมกัน รูป (ง) แสดงเส้นแรงไฟฟ้าที่มีปรากฏอยู่ระหว่างประจุไฟฟ้าบวกและลบที่มีปริมาณเท่า ๆ กัน พึงสังเกตว่า เส้นแรงไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเสริมกัน รูป (จ) แสดงเส้นแรงไฟฟ้าที่มีปรากฏอยู่ระหว่างประจุบวกและลบที่มีปริมาณไม่เท่ากัน คือ A มีประจุไฟฟ้าบวกซึ่งมีปริมาณมากกว่าประจุไฟฟ้าลบที่ B กรณีนี้จะมีจุดสะเทิน (N) เกิดขึ้นทางอีกด้านของ B รูป (ฉ) แสดงเส้นแรงไฟฟ้าที่มีปรากฏอยู่ เมื่อวางวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวกไว้ภายในวัตถุตัวนำ กรณีเช่นนี้ผิวในของวัตถุตัวนำ จะปรากฏว่ามีประจุไฟฟ้าลบ จะสังเกตเห็นว่าเส้นแรงไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าบวกที่อยู่ภายในจะพุ่งตั้งฉากเข้าหาผิวของตัวนำและสิ้นสุดอยู่ที่ผิวของตัวนำ ม่มีผ่านตัวนำออกไปข้างนอกเลย

2.5 บริเวณผิวพื้นที่ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential Surface)

วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าจะส่งสนามไฟฟ้าแผ่ออกไปโดยรอบทั่วบริเวณเป็น 3 มิติ ทำให้ทุก ๆ จุดในบริเวณนั้น เกิดค่าของศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ กันศักย์ไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุดที่ตัววัตถุ และจะมีค่าลดน้อยลง เมื่อระยะห่างออกไป แต่รอบ ๆ วัตถุจะมีอาณาเขตซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันเป็นชั้น ๆ เริ่มต้นจากผิววัตถุออกไป เรียกว่า บริเวณผิวพื้นที่ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential Surface) ในที่นี้จะกล่าวถึงเรื่องของทรงกลมโดยเฉพาะ ในภาพที่ 2.3 เป็นทรงกลมมีประจุไฟฟ้า + Q เส้นลายคือเส้นแสดงสนามไฟฟ้า วงกลมรอบ ๆ คือ แสดงอาณาเขตศักย์เท่ากัน ถ้าต้องการเคลื่อนย้ายประจุไปตามเส้นนี้ จะไม่เสียพลังงานใด ๆ เพราะทุก ๆ จุดมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ย่อมมีความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นศูนย์ จากสูตร

$$W = qV_{ab} \qquad \therefore \quad W = q \times 0 = 0 \qquad (2.3)$$

โดยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่า ทุก ๆ จุดบนเส้นอาณาเขตศักย์ไฟฟ้าเท่ากันนี้ จะตั้งฉากกับเส้นแรงของสนามไฟฟ้าเสมอ เพราะมิฉะนั้นในการเคลื่อนประจุไปตามอาณาเขตนี้จะต้องเสียพลังงานจำนวนหนึ่งต้านทานแรงประกอบ (Component) ของสนามไฟฟ้าในแนวใดแนวหนึ่ง แน่นอนถ้าเส้นแรงของสนามทำมุมกับเส้นอาณาเขตศักย์ สิ่งนี้จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนต่อข้อที่กล่าวว่า เส้นแรงของสนามไฟฟ้าย่อมตั้งฉากกับผิวของตัวนำเสมอ



รูป 2.3 แสดงอาณาเขตของศักย์ไฟฟ้าและเส้นแรงไฟฟ้าเมื่อประจุเป็นทรงกลม

013932

ทุก ๆ จุดบนผิวของทรงกลมเป็นอาณาเขตซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน เส้นแรงของสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกับเส้นสัมผัสทรงกลมทุก ๆ จุด เมื่อต่อแนวเส้นแรงเข้าไปในทรงกลม ทุก ๆ แนวจะไปพบกันที่จุดศูนย์กลาง เขาจึงคิดเสมือนว่าประจุทั้งหมดไปรวมกันอยู่ตรงจุดศูนย์กลาง การที่ศักย์ไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมมีค่าเท่ากันทุกจุด และมีค่าเท่ากับศักย์ที่ผิวทรงกลมเพราะว่าความเข้มของสนามไฟฟ้า ภายในตัวนำมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงที่ใช้ในเคลื่อนประจุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในทรงกลมจึงย่อมมีค่าเป็นศูนย์ด้วย

จาก $F = qE = q \times 0 = 0$ (2.4)

และ งาน = แรง x ระยะทาง = $0 \times$ ระยะทาง $= 0$ (2.5)

จาก $W = qV_{ab} = q(V_a - V_b) = 0$ (2.6)

ฉะนั้น $V_a - V_b = 0$ หรือ $V_a = V_b$ (2.7)

นั่นคือทุก ๆ จุดภายในทรงกลมมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันหมดและเท่ากับศักย์ที่ผิวทรงกลมด้วย เพราะที่ผิวทรงกลมเป็นอาณาเขตซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน พลังงานที่ใช้เคลื่อนประจุในบริเวณนี้จะมีค่าเป็นศูนย์

2.6 ศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่ตัวนำทรงกลมจะรับประจุไว้ได้

จากเรื่องความเข้มของสนามไฟฟ้า เราทราบว่าอากาศจะสูญเสียความเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ เมื่อบริเวณผิวตัวนำมีความเข้มของสนามไฟฟ้าราว 100 ไดน์ ต่อ e.s.u. หรือ 3×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์ จากความจริงในเรื่องนี้เราอาจจะคำนวนได้ว่าทรงกลมรัศมี 1 เซนติเมตร จะสามารถรับประจุได้สูงสุดได้ และเกิดศักย์ไฟฟ้ากี่โวลต์จึงจะไม่เกิดประกายไฟฟ้า (Spark) ออกไปในอากาศ

จาก $E = Q/r^2$ (2.8)

$100 = Q/1^2$; $Q = 100$ สเตทคูลอมบ์

$V = Q/r$ (2.9)

เนื่องจาก 1 สเตทโวลต์ หรือ 1 e.s.u. ของศักย์ เท่ากับ 300 โวลต์

ฉะนั้น $V = 100 \times 300 = 30,000$ โวลต์

นั้นคือทรงกลมรัศมี 1 เซนติเมตร จะรับประจุได้สูงสุดราว 100 e.s.u. และทนต่อศักย์ไฟฟ้าได้เพียง 30,000 โวลต์ ในทำนองเดียวกัน แล้วจะคำนวณได้ว่าทรงกลมรัศมี 1 เมตร จะทนต่อศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุดราว 3,000,000 โวลต์ สำหรับวัตถุปลายแหลมเช่นเข็มเย็บผ้า เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าตรงปลายแหลมมีลักษณะมนกลมเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลมซึ่งมีรัศมีสั้นมาก ดังนั้นเมื่อได้รับประจุเพียงเล็กน้อยก็จะเกิดศักย์ไฟฟ้าสูงมากและทำให้เกิดความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงเท่ากับ ไดอิเลคตริคสเต็งจ์ (Dielectric Strength) ของอากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดประกายไฟฟ้ามีแสงเรือง เนื่องจากประจุผ่านออกไปสู่อากาศได้ โดยเหตุนี้เราจึงไม่ใช้ตัวนำปลายแหลมเก็บประจุไฟฟ้าแต่ใช้สำหรับรับหรือส่งประจุไฟฟ้าผ่านอากาศจากตัวนำอันหนึ่งไปยังตัวนำอีกอันหนึ่ง เช่นในกรณีของเครื่องกล แวน เดอ กราฟ (Van de Graaff) เป็นต้น หรือใช้ทำสายล่อฟ้า เพื่อถ่ายประจุไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆกับดินเท่านั้น

2.7 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical induction)

การเหนี่ยวนำไฟฟ้าเป็นการที่วัตถุซึ่งมีประจุไฟฟ้าส่งอำนาจไฟฟ้าออกไปเป็นผลให้วัตถุอื่นที่เป็นกลางเกิดมีประจุไฟฟ้าขึ้นบนผิวของวัตถุได้ ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกรณีนี้เรียกว่า ประจุไฟฟ้า

เหนี่ยวนำ (induced charge) ประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งชนิดบวกและชนิดลบ ซึ่งต่างจะมีจำนวนเท่ากัน ประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดทางด้านใกล้กับประจุไฟฟ้าที่นำมาล่อ จะเป็นประจุไฟฟ้าคนละชนิดกับประจุไฟฟ้าที่นำมาล่อเสมอ ซึ่งนำมาใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำนั้น มิได้สูญเสียประจุไฟฟ้าไป เนื่องจากการเหนี่วนำวัตถุอื่นเลย และถ้าวัตถุที่ถูกเหนี่ยวนำนั้นหุ้มรอบวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำแล้ว ประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนเท่ากับประจุไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำนั้น

2.8 การกระจายของประจุไฟฟ้าบนผิววัตถุ

เมื่อทำการให้ประจุไฟฟ้าอิสระแก่วัตถุใดแล้ว จะปรากฏมีประจุไฟฟ้าบนผิวของวัตถุนั้น และการกระจายของประจุไฟฟ้าบนผิววัตถุเป็นไปดังนี้

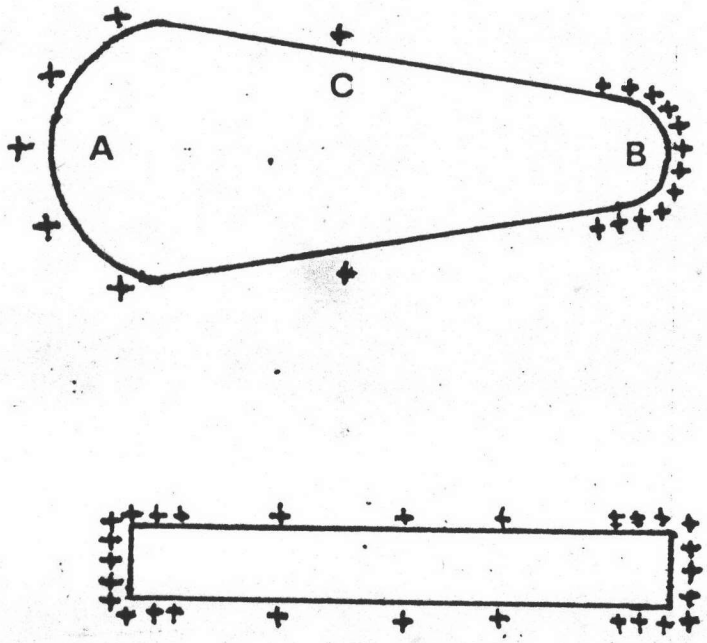
2.8.1 ถ้าวัตถุนั้นเป็นฉนวนไฟฟ้า เมื่อเราทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระขึ้นที่ตรงผิวส่วนใดประจุไฟฟ้าที่ได้มาก็จะปรากฏอยู่แต่บนผิวส่วนนั้นไม่กระจายไปสู่ผิวส่วนอื่นเลย ทั้งนี้เพราะประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่บนฉนวนไฟฟ้าไม่ได้สะดวก

2.8.2 ถ้าวัตถุนั้นเป็นตัวนำไฟฟ้า เมื่อเราทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระขึ้นบนตัวนำไฟฟ้าแล้วซึ่งจะเป็นตรงส่วนใดของตัวนำก็ตาม ประจุไฟฟ้าจะกระจายออกไปปรากฏอยู่โดยทั่วผิวตัวนำนั้น ทั้งนี้เพราะประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่บนตัวนำไฟฟ้าได้สะดวก การกระจายของประจุไฟฟ้าจะเป็นดังนี้

2.8.2.1 ประจุไฟฟ้าจะกระจายอยู่แต่ที่ผิวนอกของตัวนำเท่านั้น ไม่ว่าตัวนำนั้นจะเป็นก้อนตันหรือกลวง ในกรณีที่ตัวนำนั้นเป็นก้อนกลวงและมีวัตถุตัวนำอื่นที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ภายในโดยผิวไม่แตะกันแล้ว จะปรากฏมีประจุไฟฟ้าขึ้นที่ผิวด้านในของตัวนำกลางนั้นได้ ประจุไฟฟ้าที่มีปรากฏอยู่เช่นนี้เป็นประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำอันเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของวัตถุที่มี

ประจุไฟฟ้าที่อยู่ข้างใน แต่ถ้าวัตถุตัวนำที่มีประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ข้างในนั้นอยู่ในลักษณะที่ผิวแตะกันแล้ว ขณะนี้ตัวนำทั้งสองจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวนำก้อนเดียวกัน ตัวนำก้อนใหญ่จะถ่ายประจุไฟฟ้าให้แก่ตัวนำ

2.8.2.2 ประจุไฟฟ้าจะปรากฏอยู่ที่ตรงส่วนแหลมของตัวนำมากกว่า จะอยู่ที่ตรงส่วนมนหรือส่วนแบนราบ และตรงส่วนเว้าของตัวนำจะมีประจุไฟฟ้าอยู่น้อยกว่าที่ตรงส่วนแบนราบ ถ้าส่วนเว้านั้นเว้ามากจะไม่มีประจุไฟฟ้าปรากฏอยู่เลย ประจุไฟฟ้าจะปรากฏอยู่หนาแน่นที่สุดที่ปลายแหลมของตัวนำ



รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายบนผิวของตัวนำรูปโค้งมนและตัวนำรูปแท่ง

การกระจายของประจุไฟฟ้าบนวัตถุตัวนำจึงขึ้นอยู่กับ ลักษณะรูปร่างของผิวตัวนำนั้น ๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

วัตถุตัวนำรูปทรงกลม ประจุไฟฟ้าจะกระจายอยู่ทั่วผิวของทรงกลมโดยสม่ำเสมอเท่ากันทุกส่วน

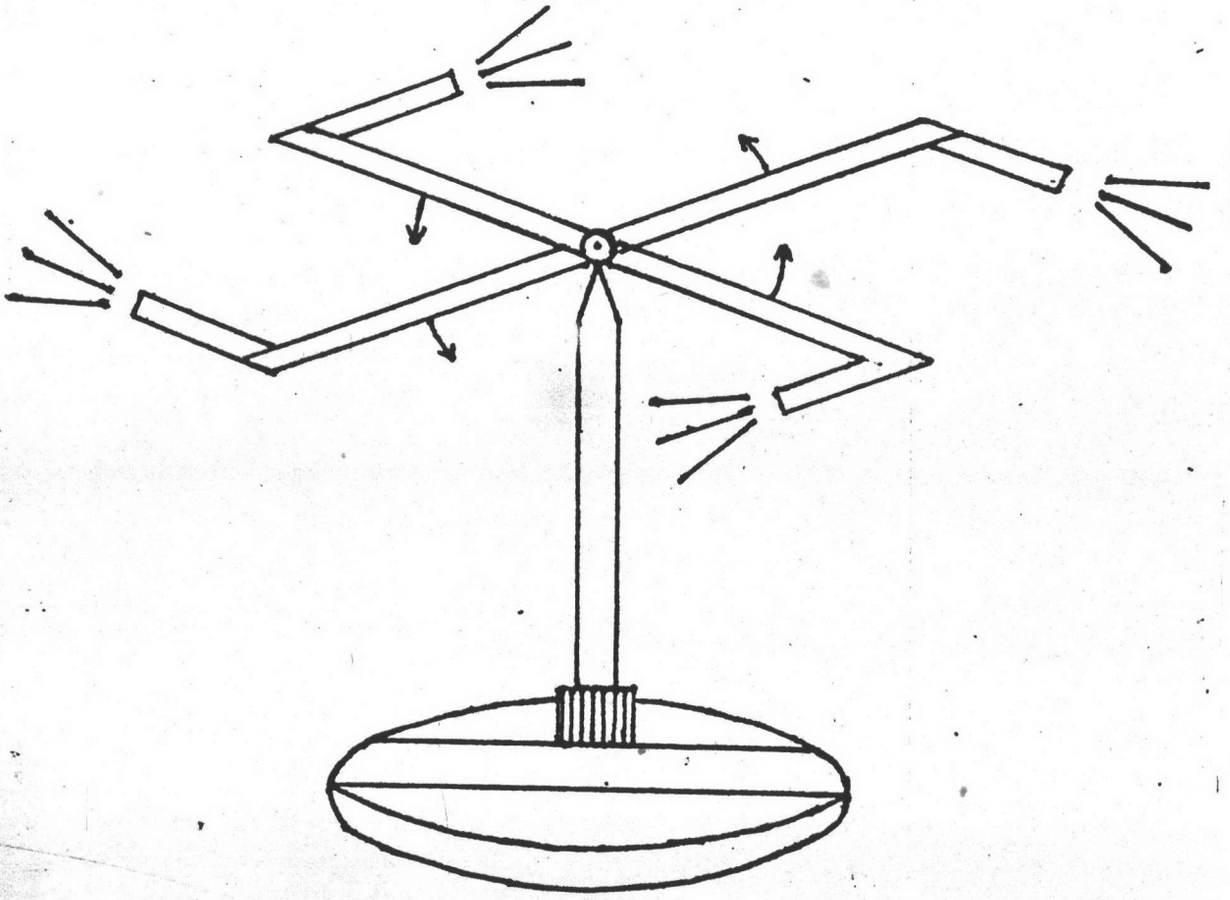
วัตถุตัวนำรูปแผ่นกลม ประจุไฟฟ้าจะกระจายไปอยู่หนาแน่นที่สุดตามขอบ ๆ ของแผ่น

วัตถุตัวนำรูปแท่งหรือแผ่นเหลี่ยม ประจุไฟฟ้าจะกระจายไปอยู่ที่มุมมากที่สุดรองลงไปก็ตามริมสัน ส่วนบนพื้นผิวด้านบนจะมีประจุไฟฟ้ากระจายกันอยู่น้อยที่สุด

2.9 <u>การปล่อยประจุไฟฟ้าออกจากปลายแหลม</u>

ประจุไฟฟ้าจะไปปรากฏอยู่อย่างหนาแน่นที่สุดที่ปลายแหลมของตัวนำ เมื่อเป็นเช่นนี้ ย่อมจะก่อให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าออกจากปลายแหลมนี้ขึ้น วัตถุตัวนำนั้น ๆ ก็จะเสียประจุไฟฟ้าไปทางปลายแหลมอยู่เรื่อย ๆ วิธีทดสอบก็คือ นำเข็มโลหะปลายแหลมเสียบขี้ผึ้งกดติดลงกับจานโลหะของอิเลคโตรสโคป กดให้ตัวเข็มโลหะสัมผัสกับจานอิเลคโตรสโคปแล้วทำการให้ประจุไฟฟ้าอิสระแก่จานโลหะ แผ่นทองจะกางอ้าออก เมื่อทิ้งไว้สักครู่จะพบว่าแผ่นทองจะกางน้อยลง ๆ หมายความว่าจานโลหะสูญเสียประจุไฟฟ้าไปเรื่อย ๆ ทางปลายเข็มที่เป็นเช่นนี้เพราะถ้าปลายแหลมมีประจุไฟฟ้าบวก ดังนั้นอนุภาคของอากาศและฝุ่นละอองโดยรอบปลายแหลมก็จะถูกเหนี่ยวนำก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นบนอนุภาคเหล่านั้น โดยด้านใกล้ของอนุภาคเหล่านั้นมีประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำลบ และด้านไกลมีประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำบวก จึงเกิดแรงดูดกันขึ้นระหว่างปลายเข็มแหลมและอนุภาคเหล่านั้น เมื่ออนุภาคเหล่านั้นถูกดูดเคลื่อนเข้าสัมผัสกับปลายเข็มแหลมแล้ว ประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำลบบนอนุภาคก็จะจัดคู่กับประจุไฟฟ้าอิสระบวกบนปลายเข็มแหลม ทำให้เป็นกลาง โดยนัยนี้ปลายเข็มแหลมจึงสูญเสียประจุไฟฟ้าบวกไป เหตุการณ์ดำเนินไปดังนี้เรื่อย ๆ

เข็มแหลมก็จะสูญเสียประจุไฟฟ้าไปเรื่อย ๆ จึงเสมือนกับว่าเกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าออกจากปลายแหลมนั้น ในขณะเดียวกันนั้นอนุภาคที่แตะกับปลายแหลมของเข็มแล้วก็จะปรากฏมีประจุไฟฟ้าบวกอิสระทันที จึงเกิดแรงผลักกันขึ้นกับประจุไฟฟ้าบวกอิสระบนปลายแหลม อนุภาคเหล่านี้จึงเคลื่อนหนีออกจากปลายแหลมก่อให้เกิดกระแสลมเคลื่อนออกจากปลายแหลม ซึ่งเรียกกันว่าลมไฟฟ้า (electric wind) มีอุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งใช้ทดลองเกี่ยวกับลมไฟฟ้า (Eletric Wind) เรียกว่า กังหัน แฮมมิลตัน (Hamilton mill)



รูปที่ 2.5 เครื่องกังหันแฮมมิลตัน (Hamilton mill)

เครื่องมือนี้ประกอบด้วยโลหะปลายแหลมงอเป็นมุมฉากไปทางเดียวกัน โลหะเหล่านี้เชื่อมปลายข้างหนึ่งติดกันเป็นแผง โดยตัวโลหะทุกอันอยู่ในแนวระดับ แผงโลหะวางอยู่บนปลายแหลมของหลักซึ่งทำด้วยฉนวนไฟฟ้า ในลักษณะที่ตัวแผงหมุนได้คล่องตัวในแนวระดับ ทำการให้ประจุไฟฟ้าอิสระแก่แผงโลหะ เมื่อประจุไฟฟ้าที่ให้มีปริมาณมากพอ จะแลเห็นแผงโลหะหมุนได้รอบตัวตามแนวลูกศรในรูป เหตุที่หมุนได้ก็เพราะว่าเกิดลมไฟฟ้า (electric wind) พุ่งออกจากปลายแหลมทุกอัน และเข็มทุกอันถูกผลักให้ถอยหลัง เนื่องด้วยแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันที่มีปรากฏอยู่ที่ปลายแหลมและที่บนอนุภาคของอากาศและฝุ่นละอองดังได้กล่าวมาแล้ว

2.10 ความจุไฟฟ้า (Electrical Capacitance)

ความจุไฟฟ้าของวัตถุใด ๆ คือ จำนวนประจุต่อ 1 หน่วยศักย์ไฟฟ้า ซึ่งหมายความว่าในการที่จะทำให้วัตถุเพิ่มหรือลดศักย์ไฟฟ้า 1 หน่วยจะต้องใช้จำนวนประจุไฟฟ้ามากหรือน้อย วัตถุใดมีความจุไฟฟ้ามากจะต้องใช้ประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก จึงจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น วัตถุใดมีความจุไฟฟ้าน้อยได้รับประจุเพียงเล็กน้อยศักย์ไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นจากเดิมมากคล้ายกับความจุของภาชนะ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำที่ใส่ลงไปในภาชนะนั้น ความจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของวัตถุ อาจจะให้คำจำกัดความได้ว่า ความจุไฟฟ้า (Capacitance) ของวัตถุใด ๆ หมายถึงจำนวนประจุที่จะทำให้วัตถุเพิ่มหรือลดศักย์ไฟฟ้า 1 หน่วยมีหน่วยเป็น e.s.u. ของความจุ หรือสเตทฟารัด (Statfarad) ในระบบ e.s.u. หรือมีหน่วยเป็นฟารัด (Farad) ในระบบ m.k.s

ถ้า C = ความจุไฟฟ้าของวัตถุ (e.s.u. หรือ Statfarad,Farad)

,Q = จำนวนประจุทำให้วัตถุเกิดศักย์ไฟฟ้า (e.s.u. หรือ Statcoulomb; coulomb)

V = ศักย์ไฟฟ้าของวัตถุ (e.s.u. หรือ Statvolt,Volt)

ฉะนั้น ความจุไฟฟ้า = จำนวนประจุต่อ 1 หน่วยศักย์ไฟฟ้า

= จำนวนประจุ/ศักย์ไฟฟ้า ; ดังนั้น

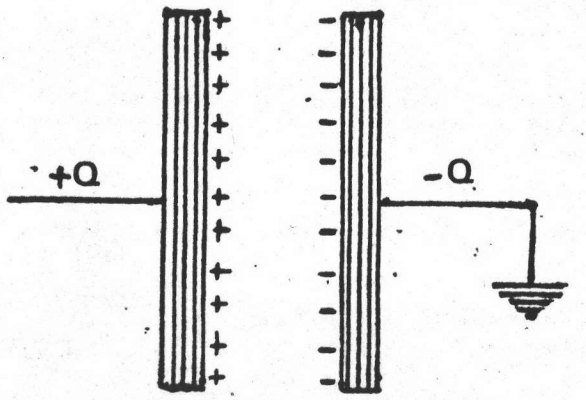
$$C = Q/V \qquad (2.10)$$

ระบบ e.s.u. ความจุ 1 สเตทฟารัด (statfarad) หมายความว่า ถ้าวัตถุได้รับประจุ 1 สเตทคูลอมป์ (Statcoulomb) จะมีศักย์เพิ่มขึ้น 1 สเตท โวลต์ (Stat Volt)

ระบบ m.k.s. ความจุ 1 ฟารัด (Farad) หมายความว่า ถ้าวัตถุได้รับประจุ 1 คูลอมป์ (Coulomb) จะมีศักย์เพิ่มขึ้น 1 โวลต์ (Volt)

2.11 เครื่องควบแน่น (Capacitor or condenser)

เครื่องควบแน่น คือ เครื่องมือซึ่งมีความจุไฟฟ้ามากกว่าวัตถุธรรมดา สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก ประกอบด้วยโลหะ 2 แผ่นขนานกันมีไดอิเล็คทริคคั่นกลาง



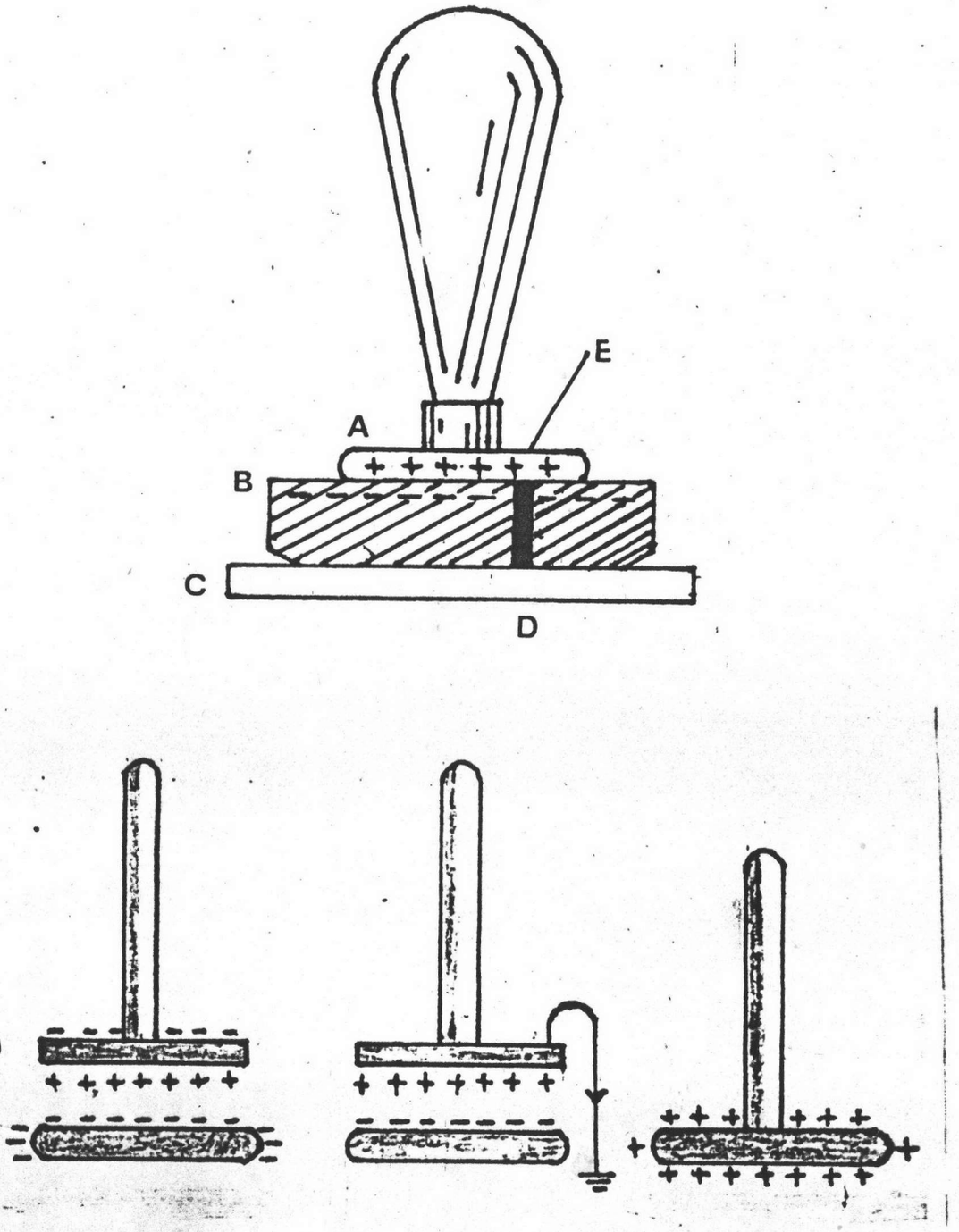
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของเครื่องควบแน่น

แผ่นโลหะข้างหนึ่งต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นทางที่ประจุไฟฟ้าเข้าอีกข้างหนึ่งต่อลงดิน หรือข้างหนึ่งต่อเข้ากับขั้วบวกอีกข้างหนึ่งต่อเข้ากับขั้วลบของวงจร จะทำให้ข้างหนึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกอีกข้างหนึ่งมีประจุไฟฟ้าลบเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน สนามไฟฟ้าในบริเวณนั้นจะมีลักษณะเป็นเอกรูป และคัคย์ไฟฟ้าในบริเวณนั้นจะต่ำมากเนื่องจากมีแผ่นบวกและแผ่นลบวางอยู่ใกล้กัน เมื่อพิจารณาดูจากสูตร $C = Q/V_{ab}$ เมื่อ V_{ab} มีค่าน้อย C จะมีค่ามาก โดยเหตุนี้เครื่องควบแน่นจึงสามารถเก็บประจุไฟฟ้าไว้ได้เป็นจำนวนมาก และสำหรับจำนวนประจุในเครื่องควบแน่นนั้นให้คิดเพียงข้างหนึ่งข้างใดของแผ่นโลหะเท่านั้น เนื่องจากประจุอีกข้างหนึ่งเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำถ้าคิดรวมทั้ง 2 ข้างแล้ว จำนวนประจุในเครื่องควบแน่นทุก ๆ อันจะมีค่าเป็นศูนย์

2.12 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต (electrostatic generators)

คือ เครื่องกลที่ใช้สำหรับทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระจำนวนมาก ๆ ได้ ซึ่งในที่นี้จะอธิบายคร่าว ๆ เพียง 4 แบบเท่านั้น ซึ่งแบบที่ 4 เป็นแบบที่ใช้เป็นแนวทางในการวิจัย

2.12.1 เครื่องอิเลคโตรฟอรัส (Electrophorus) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าสถิตที่ใช้สำหรับทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระ สำหรับใช้เพื่อการศึกษาวิชาไฟฟ้าสถิตเบื้องต้น เครื่องมือนี้ประกอบด้วยชิ้นวัตถุสองชิ้นคือ ชิ้นหนึ่งเป็นแผ่นเอโบไนต์กลม B ติดตรึงแน่นอยู่กับแท่นโลหะทองเหลือง C ซึ่งมีเข็มโลหะ D ติดตรึงแน่นทะลุโผล่ที่ผิวบนของแผ่นเอโบไนต์ B อีกชิ้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะทองเหลืองกลม A ซึ่งติดตรึงกับด้ามจับที่ทำด้วยฉนวนไฟฟ้า (โดยมากทำด้วย เอโบไนต์) เมื่อเวลาจะใช้เครื่องกลนี้ทำประจุไฟฟ้าให้แก่ตัวนำใดก็ปฏิบัติดังนี้ ขั้นแรก ให้นำวัตถุที่เหมาะสมมาถูแผ่นเอโบไนต์ B ให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระเสียก่อนเช่น นำผ้าสักหลาดมาถูก็จะได้ประจุไฟฟ้าลบอิสระบนแผ่นเอโบไนต์ B ถ้านำแพรอะแมลกะเมทด์ (Amalgamated) มาถูก็จะได้ประจุไฟฟ้าบวกอิสระบน B สมมติว่าเราทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบอิสระบน B ขั้นต่อไปให้จับด้ามของแผ่นทองเหลือง A นำ A มาทาบให้ชิดกับแผ่นเอโบไนต์ B จนแผ่นทองเหลือง A แตะปลายเข็ม D ในการนี้ประจุไฟฟ้าลบบน B จะทำการเหนี่ยวนำ A ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำบวกที่ผิวล่างของ A

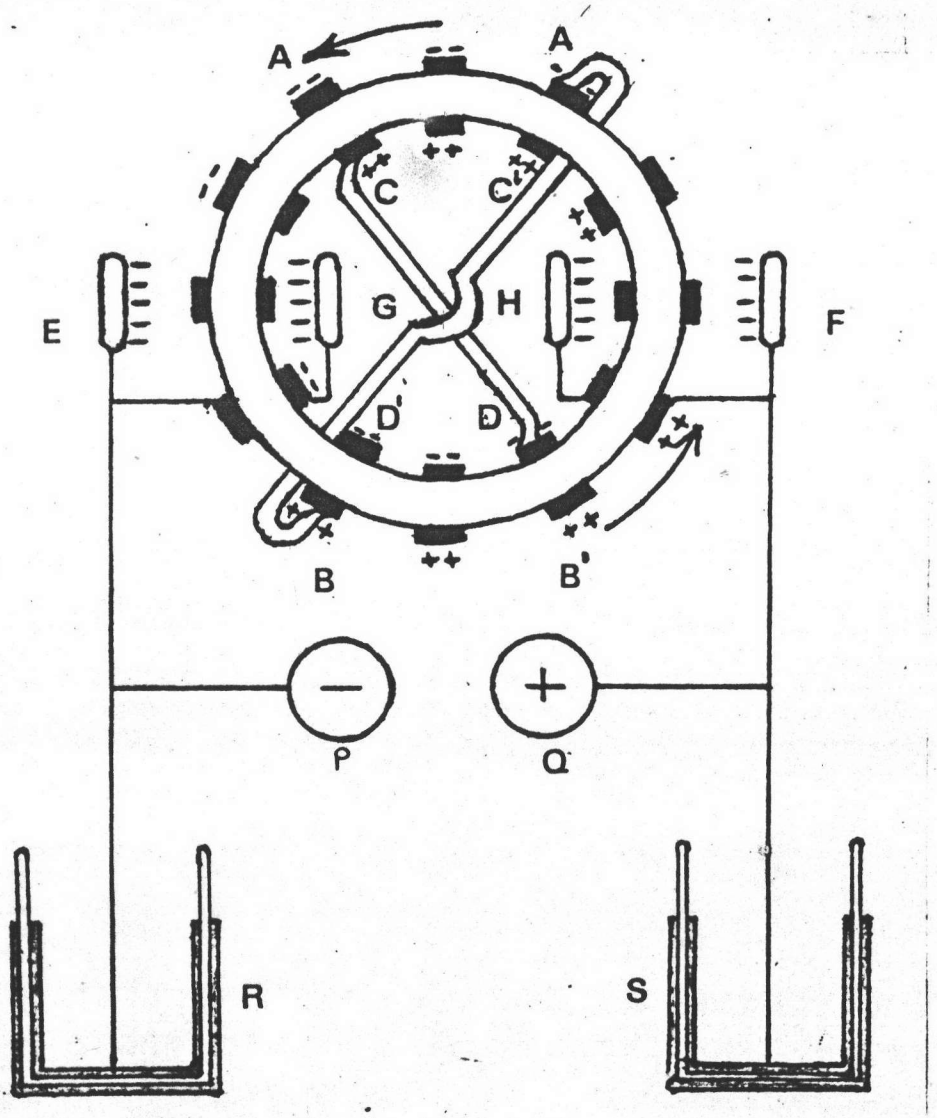


รูปที่ 2.7 เครื่องอิเลคโตรฟอรัส

และเกิดประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำลบที่ผิวบนของ A แต่โดยที่ผิวของ A แตะกับตัวเข็ม D ดังนั้นแผ่น A จึงถูกเออร์ทอยู่ประจุไฟฟ้าลบที่ผิวบนของ A จึงเคลื่อนที่ลงสู่ผิวโลกหมด คงเหลือแต่ประจุไฟฟ้าบวกที่ผิวล่างของ A ยก A ออกไป เมื่อผิวของ A พ้นเข็ม D ก็เท่ากับว่า A ถูกตัดเออร์ทแล้ว ขณะนี้ A จึงปรากฏมีประจุไฟฟ้าบวกอิสระ ส่วนแผ่นเอโบไนต์ B ก็คงมีประจุไฟฟ้าลบอิสระอยู่อย่างเดิม เพราะเอโบไนต์ B เป็นฉนวนไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าจึงไม่เคลื่อนที่หนีไปไหน นำ A ไปแตะกับตัวนำที่เราต้องการให้มีประจุไฟฟ้าอิสระ ในการนี้ตัวนำนั้นก็จะได้รับประจุไฟฟ้าบวกอิสระ นำ A กลับมาวางทาบชิดกับ B ใหม่ด้วยวิธีการเดิม A ก็จะมีประจุไฟฟ้าบวกอิสระอีก นำ Aไปแตะกับตัวนำนั้นอีก ตัวนำนั้นก็จะได้รับประจุไฟฟ้าบวกอิสระเพิ่มขึ้นอีก กระทำโดยวิธีการเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง ตัวนำนั้นก็จะได้รับประจุไฟฟ้าบวกอิสระมากพอตามที่เราต้องการได้ หากประสงค์จะให้ตัวนำใดได้รับประจุอิสระลบ ก็ต้องทำให้แผ่นเอโบไนต์ B ได้มีประจุไฟฟ้าบวกอิสระเสียก่อนแล้วจึงปฏิบัติทำนองเดิม

ถ้าไม่มีเข็ม D ติดตรึงอยู่ด้วย เมื่อนำ A มาวางทาบชิดกับ B เราจะต้องทำการเออร์ทแผ่น A แล้วตัดเออร์ท จากนี้จึงยก A ออกไปได้ในการวาง A ทาบชิดกับผิวของ B นั้น เราอาจวาง A กับ B ลงไปเลยก็ได้ผิวของแผ่นทั้งสองจะไม่สัมผัสกันสนิททุกจุด เพราะอย่างไรก็ดีไม่มีผิวของวัตถุใดที่เรียบสนิทโดยสมบูรณ์จริง ๆ โดยนัยนี้ผิวของ A และ B จะสัมผัสกันเพียงไม่กี่จุดเท่านั้น และโดยที่เอโบไนต์ (Ebonite) B เป็นฉนวนไฟฟ้า เมื่อผิวของ A มาสัมผัสก็จะเสียประจุไฟฟ้าไปตรงจุดที่สัมผัสกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งไม่จำเป็นต้องทำการให้ประจุไฟฟ้าแก่แผ่น B ใหม่อีก

2.12.2 เครื่องกลวิมสเฮิสต์ (Wimshurst machine) เป็นเครื่องกลที่นิยมใช้ในห้องทดลองมากที่สุด



รูปที่ 2.8 เครื่องกลวิมสเฮิสต์

มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

2.12.2.1 จานแก้ว 2 แผ่นหมุนสวนกัน จานมีแผ่นดีบุกฝังอยู่เป็นแถบ ๆ มีจำนวนเท่า ๆ กัน ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้า

2.12.2.2 แปรงตัวนำ ทำด้วยก้านทองเหลืองตรงปลายมีดีบุกเส้นเล็ก ๆ ติดอยู่เป็นกระจุก สัมผัสอยู่กับจานแก้ว แปรงตัวนำมี 2 อัน แต่ละอันสัมผัสอยู่กับจานแก้วแต่ละแผ่น ในภาพคือ AB และ A ' B '

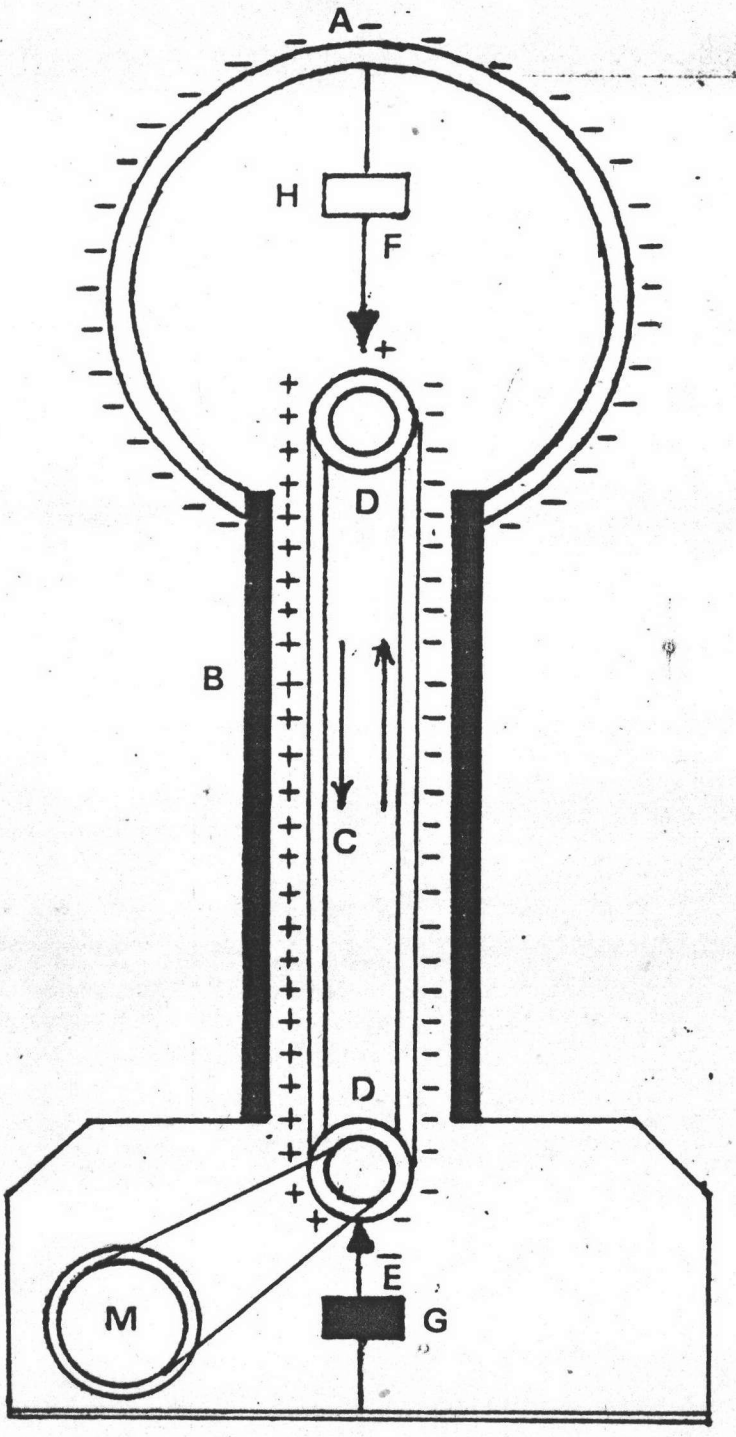
2.12.2.3 แปรงรับประจุ ทำด้วยดีบุกเป็นเส้นเล็ก ๆ มีหน้าที่เก็บประจุจากจานแก้ว โดยอาศัยการถ่ายประจุผ่านปลายแหลมของเส้นดีบุกเล็ก ๆ เหล่านั้นในภาพคือ E และ F แปรงรับประจุจะนำประจุไปเก็บไว้ในเครื่องควบแน่น หรือคอนเดนเซอร์ แบบไลเด็น ซึ่งสามารถเก็บประจุได้ได้มากกว่าวัตถุธรรมดาหลายหมื่นเท่าในภาพคือ R และ S

2.12.2.4 ปุ่มปล่อยประกายไฟฟ้า (Dischargers) มีอยู่ 2 อันคือ P และ Q ต่ออยู่กับเครื่องควบแน่น มีหน้าที่ปล่อยประจุเป็นประกายไฟฟ้าผ่านอากาศ

การเกิดประจุไฟฟ้า เมื่อหมุนแผ่นแก้ว แผ่นแก้วทั้งสองจะหมุนสวนกันประจุไฟฟ้าบวกซึ่งมีอยู่แล้วเกิดขัดสี หรือมีตกค้างอยู่ตรงจุด C ' จะเหนี่ยวนำให้แผ่นดีบุก A ' เกิดประจุลบและแผ่นดีบุก B ซึ่งอยู่ตรงข้ามเกิดประจุบวก เมื่อ A และ B หมุนเคลื่อนที่เลยไปยัง A ' และ B ' ก็จะเกิดประจุลบและบวกอิสระ A ' จะเหนี่ยวนำ C ให้เกิดประจุบวก ส่วน B ' จะเหนี่ยวนำ D ให้เกิดประจุลบ เมื่อแผ่นแก้วหมุนต่อไป C และ D ก็จะเกิดประจุบวกและลบอิสระขึ้นเช่นเดียวกับ A และ B

พิจารณาจากการหมุน ประจุลบจาก A ' และ D ' ต่างหมุนสวนกันเข้ามาหาแปรงเก็บประจุ E แล้วส่งถ่ายประจุลบให้แก่ E ทางปลายแหลม ประจุเหล่านี้จะเลยไปยังเครื่องควบแน่น R ส่วน B 'และ C 'ก็ต่างหมุนไปส่งประจุบวกให้แก่แปรง F และส่งเลยไปเครื่องควบแน่น S ในรอบต่อ ๆ กันไป จะเกิดการเหนี่ยวนำเช่นนี้เรื่อย ๆ ในที่สุดจะทำให้เกิดการต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปุ่ม P และ Q หลายหมื่นโวลต์ และเกิดประกายไฟฟ้ากระโดดข้ามอากาศได้

2.12.3 เครื่องกำเนิด แวน เดอ กราฟ (Van de Graff Generator) ประดิษฐ์ขึ้นโดย โรเบิร์ต เจ วัน เดอร์ กราฟ ชาวเยอรมันแห่งมหาวิทยาลัยปรินซ์ตัน (12)



รูป 2.9 เครื่องกลวันเดอร์กราฟแบบสายพาน

เป็นเครื่องกลไฟฟ้าสถิตขนาดใหญ่ สามารถทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตมีศักย์ไฟฟ้าสูงนับเป็นล้าน ๆ โวลต์ ใช้เป็นเครื่องเร่งอนุภาคสำหรับยิงอะตอม

เครื่องกลชนิดนี้อาศัยหลักเบื้องต้นของไฟฟ้าสถิต 3 ประการคือ

2.12.3.1 การส่งถ่ายประจุไฟฟ้าผ่านอากาศของตัวนำปลายแหลม

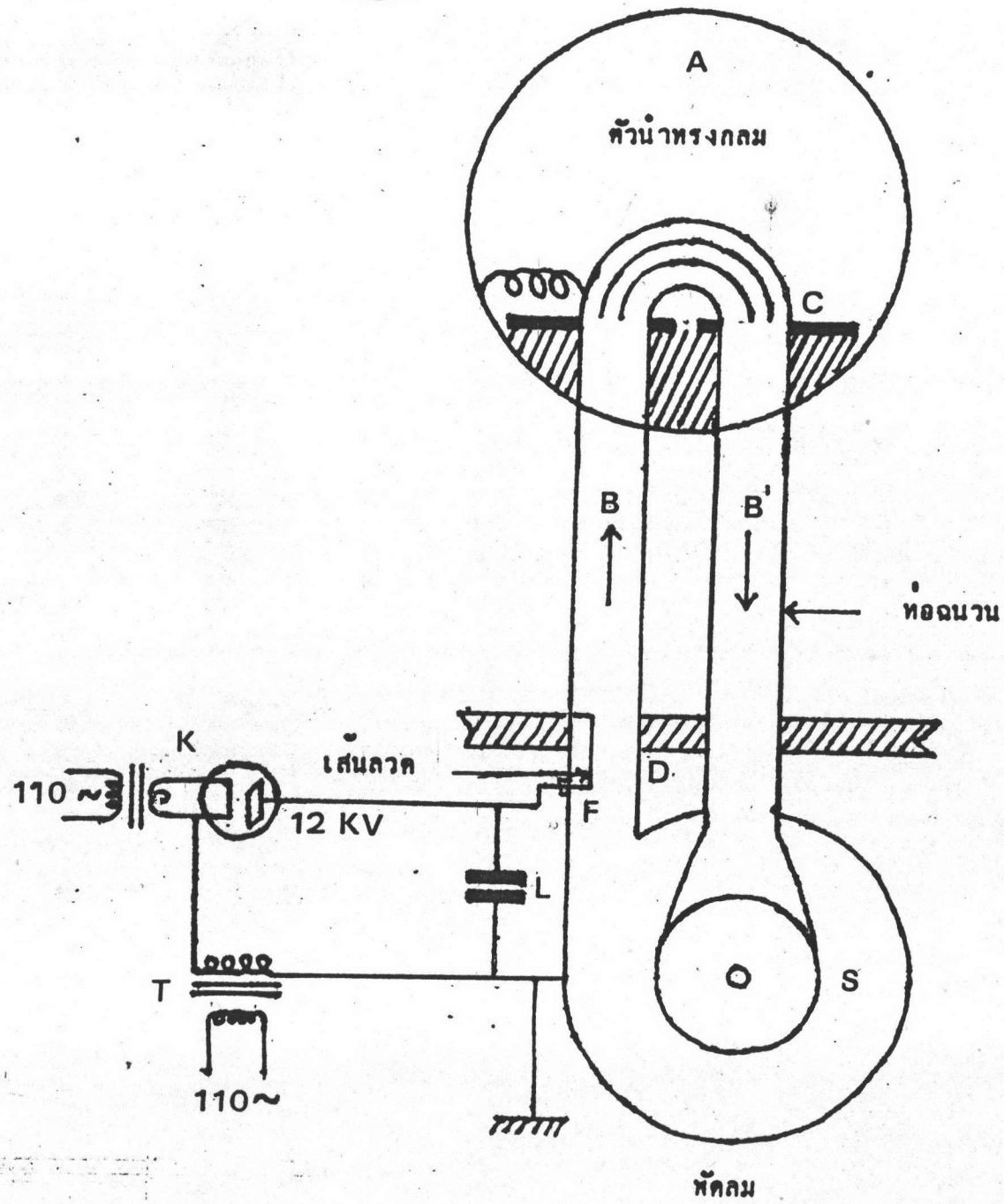
2.12.3.2 ตัวนำทรงกลมสามารถรับประจุไฟฟ้าจากภายในได้อย่างไม่มีขีดจำกัด แม้ว่าจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงเท่าใดก็ตาม

2.12.3.3 ประจุไฟฟ้าจะออกมาอยู่ที่ผิวนอกของทรงกลมตัวนำเท่านั้น ส่วนประกอบที่สำคัญ A เป็นทรงกลมโลหะขนาดใหญ่ตั้งอยู่บนฐานฉนวนทรงกระบอก B, C เป็นสายพานไฟเบอร์คล้องอยู่กับรอก D ซึ่งสามารถหมุนได้ด้วยโมเตอร์ E และ F เป็นตัวนำปลายแหลมต่ออยู่กับขั้วบวกและขั้วลบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรง หรือแบตเตอรี่ G กับ H ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงหลายหมื่นโวลต์ เมื่อสายพานหมุนตามทิศของลูกศรดังรูป 2.12 ตัวนำปลายแหลม E และ F จะส่งถ่ายประจุผ่านอากาศทำให้อากาศเกิดประจุชนิดเดียวกันผลักดันกันเป็นละอองแบบพ่น (Spray) มาสู่สายพานที่ปลาย E จะมีไอออนลบ ส่วนปลาย F จะมีไอออนบวก เมื่อไอออนบวกติดสายพานลงมาข้างล่าง จะถูกไอออนลบบางส่วนจาก E ทำลายให้เป็นกลาง ไอออนลบจำนวนหนึ่งจาก E จะเลยขึ้นไปข้างบน ที่ปลาย F ทำการส่งถ่ายไอออนบวกให้แก่สายพาน การส่งประจุบวกออกมาสู่สายพานทำให้ทรงกลม A เกิดประจุลบและในเวลาเดียวกันสายพานทางด้านขวาจะส่งประจุลบให้แก่ F และ F จะส่งต่อไปยัง A ประจุลบทั้งหมดจะออกไปอยู่ที่ผิวนอกของ A เพราะศักย์ไฟฟ้าที่ปลายแหลม F จะสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ทรงกลม A เสมอ ไม่ว่า A จะมีศักย์ไฟฟ้าสูงเท่าไรก็ตาม หรือจะมีประจุอยู่แต่เดิมเท่าไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าสายพาน C ทำหน้าที่ดึงประจุบวกออกจาก A และส่งประจุลบให้แก่ A ในเวลาเดียวกัน ดังนั้น A จะเกิดประจุลบมากขึ้นเป็นทวีคูณ จนกระทั่งมีศักย์ไฟฟ้าหลายล้านโวลต์ แต่ยังสามารถรับประจุจากตัวนำ F ได้เรื่อย ๆ อย่างไม่มีขีดขั่นจำกัด จนกระทั่งเกิดประกายไฟฟ้าออกจากทรงกลม A

เครื่องกำเนิดแวนเดอกราฟแบบห้องทดลอง (Demonstration Van de Graff generator) ไม่ต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แต่ใช้วัตถุฉนวนหุ้มล้อ D ข้างล่างและข้างบนคนละชนิด ซึ่งเมื่อขัดสีกับสายพาน C เข้าแล้วจะทำให้สายพาน C เกิดประจุบวกข้างหนึ่งและเกิดประจุลบอีกข้างหนึ่ง ส่วนประกอบอื่น ๆ และหลักการทำงานของเครื่องกล เหมือนกับเครื่องกลจริง ๆ ทุกประการ (11)

2.12.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตโดยใช้การพัดของกระแสฝุ่น ประจุไฟฟ้าอาจจะเคลื่อนที่ย้ายได้โดยการพัดพาของอนุภาคที่เป็นฉนวน โดยที่ประจุเหล่านั้นจะเกิดขึ้นได้ก็โดยอนุภาคที่เป็นฉนวนวิ่งผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้า หรือ โดยการขัดสีกันในระหว่างที่ถูกลมพัดพุ่งขึ้นไป

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงศักย์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดนี้ มีการศึกษากันในฝรั่งเศสโดย เพาเทอเนียร์ และ มาโร-ฮันโนท์[1] (Pauthenier and Moreau - Hanot) เป็นเครื่องมือที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ถึง 1.2 MV โดยใช้ทรงกลมสำหรับเก็บประจุไฟฟ้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 75 เซนติเมตร T, K, L คือเรคติไฟเออร์ Rectifier ต่อเข้ากับเส้นลวดที่ F ฝุ่นจะถูกพัดเป็นทางตลอดท่อ BB' โดยพัดลม S ประจุไฟฟ้าจะกลายเป็นทรงกลมฟาราเดย์ (Faraday) ประจุไฟฟ้าจะถูกพัดขึ้นไปสะสมที่ทรงกลมตัวนำ A กระแสอากาศมีความเร็วประมาณ 50 เมตรต่อวินาที โดย BB'เป็นท่อฉนวนทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เส้นลวดทองแดง F มีหน้าที่ปล่อยประจุไฟฟ้าตามต้องการ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตแบบนี้ได้ใช้เป็นแนวทางในการวิจัยครั้งนี้ ดังรายละเอียดในบทที่ 4



รูปที่ 2.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตโดยใช้การพัดของกระแสผุ่น