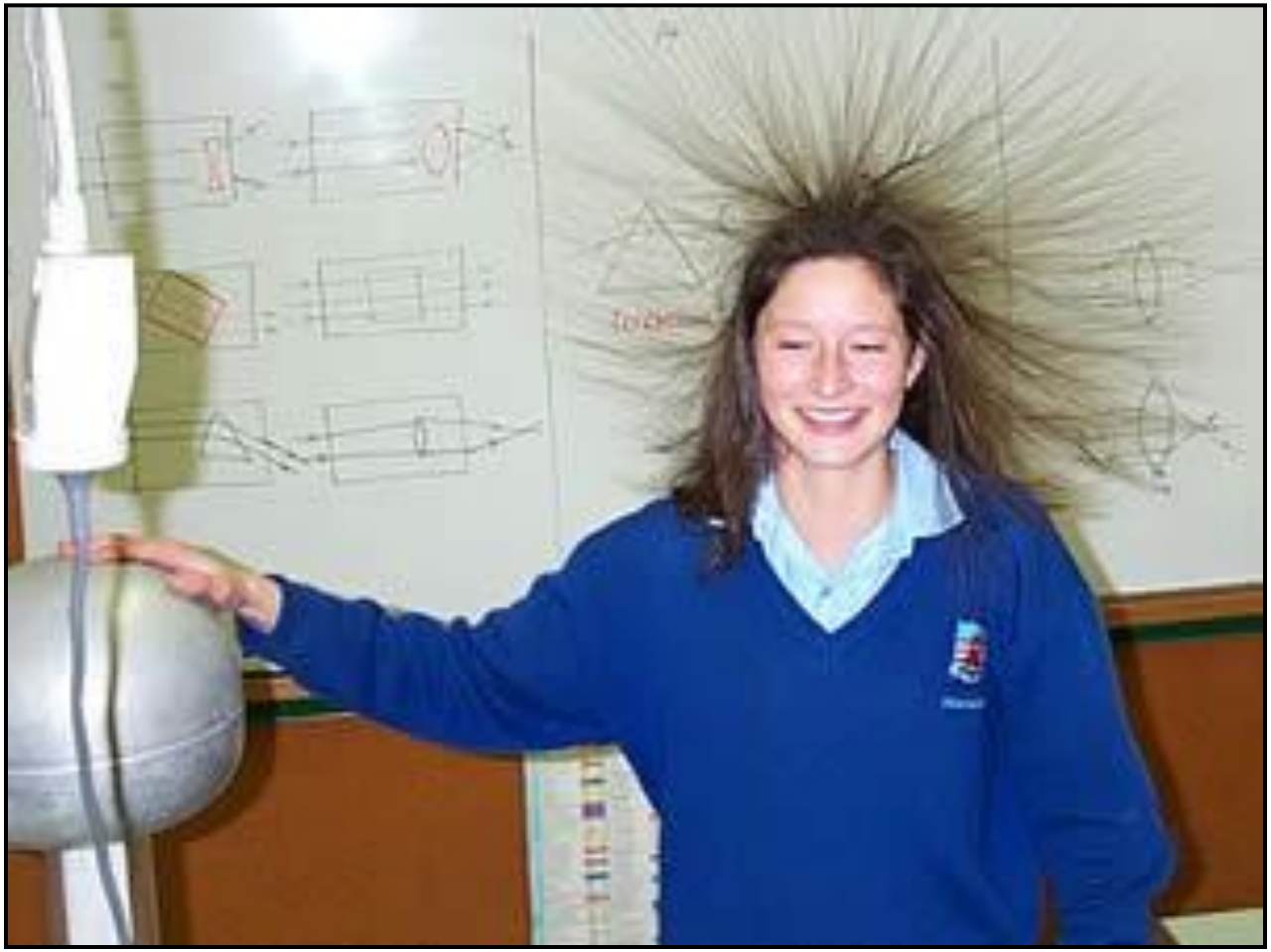
Electrostatics

Physics for teacher II

ไฟฟ้าสถิต



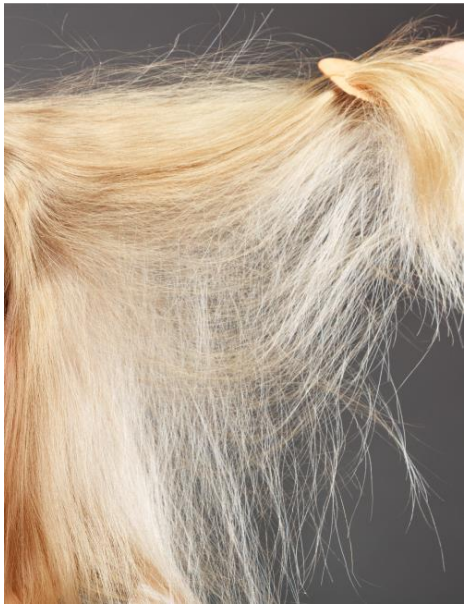
ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต

ฟ้าแลบ

ฟ้าผ่า และฟ้าร้อง

เกิดอะไรขึ้น .....

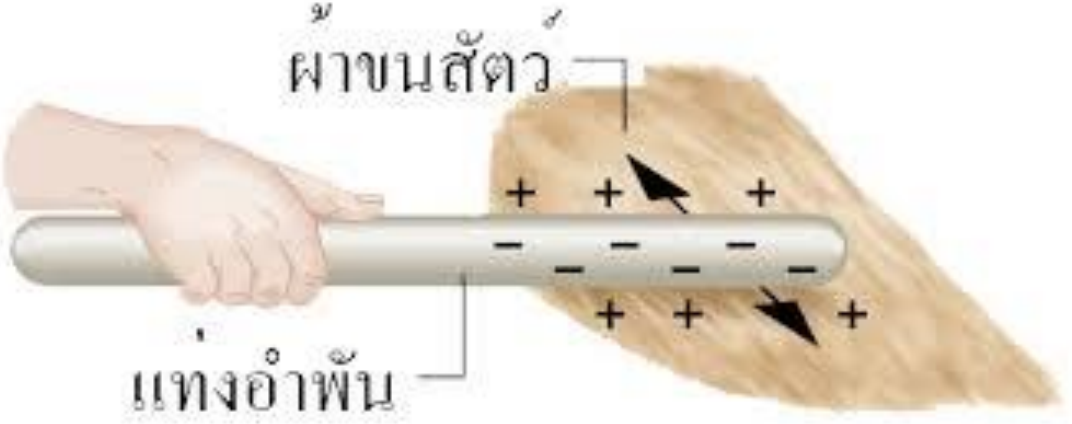
เมื่อเราหวีผมแล้วนำหวีมาใกล้กับกระดาษชิ้นเล็ก ๆ ก็จะพบว่าหวีสามารถดูดกระดาษได้



อำพัน (*amber*)

- คือยางสนที่แข็งตัวจนเกือบกลายเป็นหิน มีความแข็ง 6 (เพชรซึ่งแข็งสุดมีความแข็ง 10) มีลักษณะคล้ายพลาสติกโปร่งแสง มีสีน้ำตาลแกมแดง สามารถขัดให้เรียบขึ้นเงาได้ง่ายนิยมทำเป็น เครื่องประดับ

- แท่งอำพันมาถูกับผ้าขนสัตว์
- จะสามารถดูด ของเบา ๆ เช่น ฟาง ขนนกได้

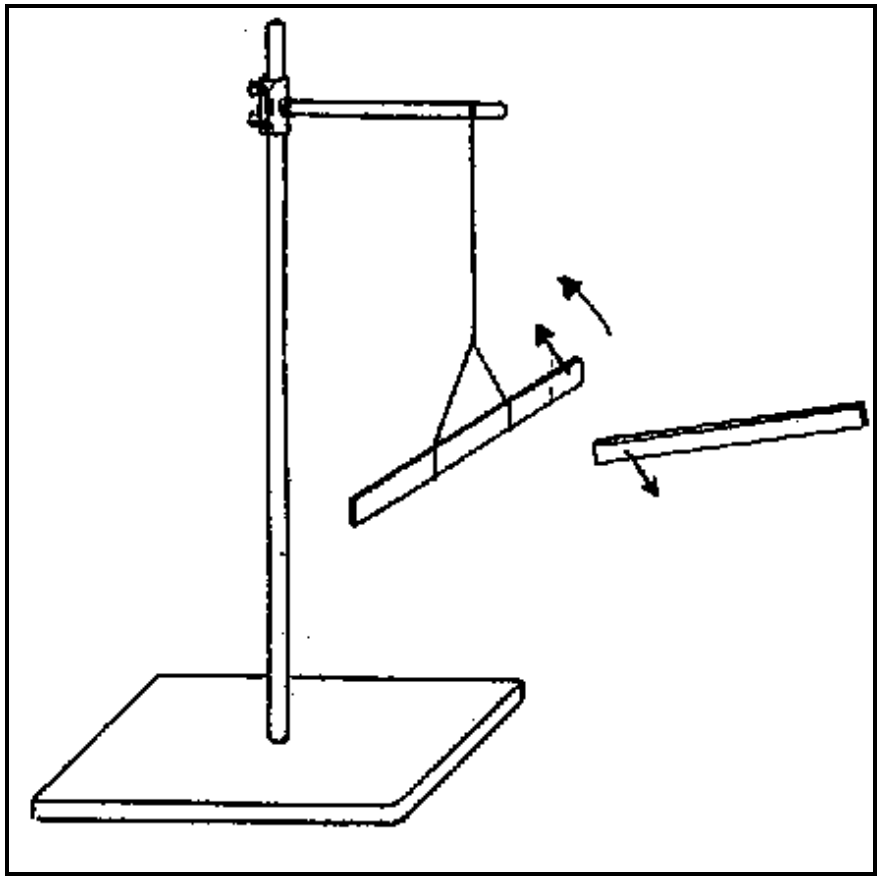


ประจุไฟฟ้า (electric charge)

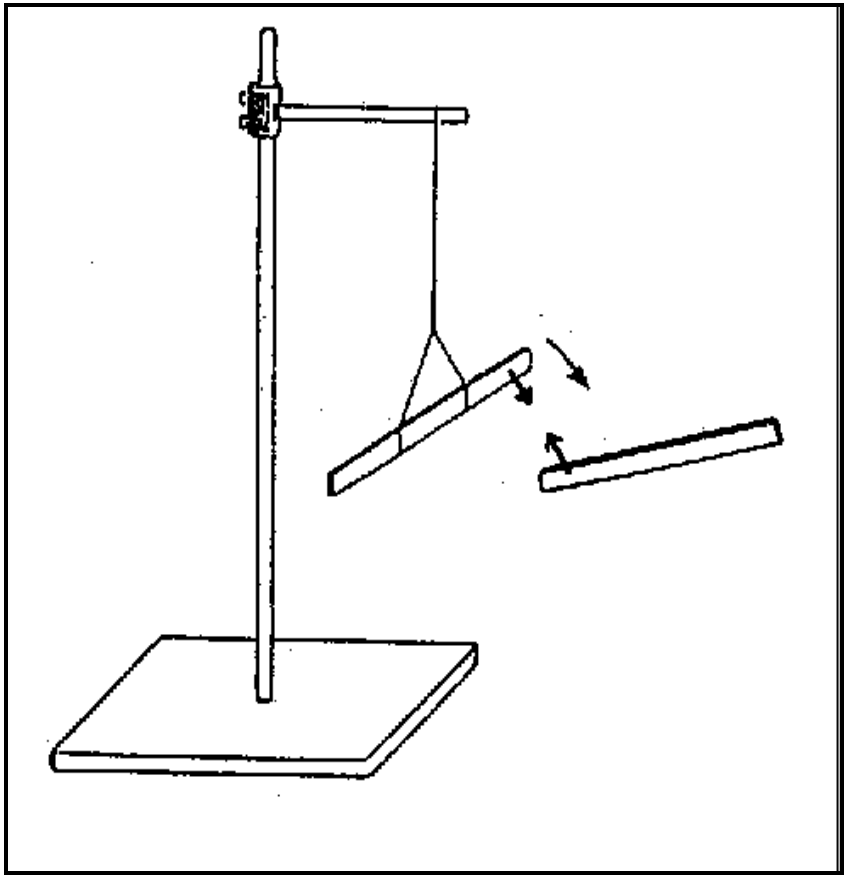
I. การที่วัตถุสองชนิด เมื่อถูกันแล้วต่างเกิดมีอำนาจดูดของเบา ๆได้นั้นเราเรียกว่าวัตถุทั้งสองต่างเกิดมีประจุไฟฟ้า ขึ้น

II. การกระทำที่ทำให้วัตถุเกิดมีอำนาจไฟฟ้าขึ้นได้เรียกว่า การชาร์จ(charge) วัตถุ หรือ electrify วัตถุและเมื่อวัตถุนั้น ๆหมดอำนาจไฟฟ้าแล้วเราเรียกว่าวัตถุนั้นเป็นกลาง (neutral)

- ทดลองนำแผ่นพีวีซี มาถูด้วยผ้าสักหลาด แล้วนำแผ่นพีวีซีแผ่นหนึ่ง แขวนด้วยเส้นด้ายที่กึ่งกลางแผ่น
- โดยให้แผ่นพีวีซีแผ่นนี้วางตัวอยู่ในแนวราบแล้วนำปลายของพีวีซีแผ่นที่เหลือมาจ่อใกล้ๆ ปลายแผ่นที่แขวนไว้(โดยใช้ปลายที่ถูกถูด้วยผ้าสักหลาดในตอนแรก) จะปรากฏว่าแผ่นพีวีซีทั้งสองเบนหนีออกจากกัน
- แสดงว่า เกิดมีแรงผลักระหว่างแผ่นพีวีซีทั้งสอง



- เมื่อเปลี่ยนแผ่นพีวีซีเป็นแผ่นเปอร์สเปกซ์
- แล้วทำการทดลอง เช่นเดียวกับแผ่นพีวีซีจะพบว่าแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่มีประจุจะผลักแผ่นเปอร์สเปกซ์ ที่มีประจุอีกแผ่น
- แต่ถ้านำแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่มีประจุเข้าใกล้แผ่นพีวีซีที่มีประจุซึ่งแขวนอยู่จะปรากฏว่าแผ่นพีวีซีเบนเข้าหาแผ่นเปอร์สเปกซ์ แสดงว่าแผ่นพีวีซีและแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่มีประจุ เกิดมีแรงดึงดูดกัน



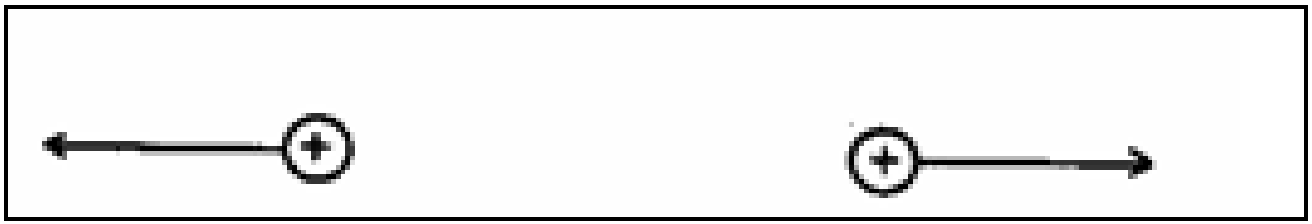
ประจุไฟฟ้ามีอยู่เพียง 2 ชนิด

- ประจุไฟฟ้าบวก (Positive charge) หรือเรียกสั้น ๆว่า ประจุบวก (+) เป็นประจุที่เกิดบนแท่งแก้วเมื่อถูกถูด้วยผ้าไหม

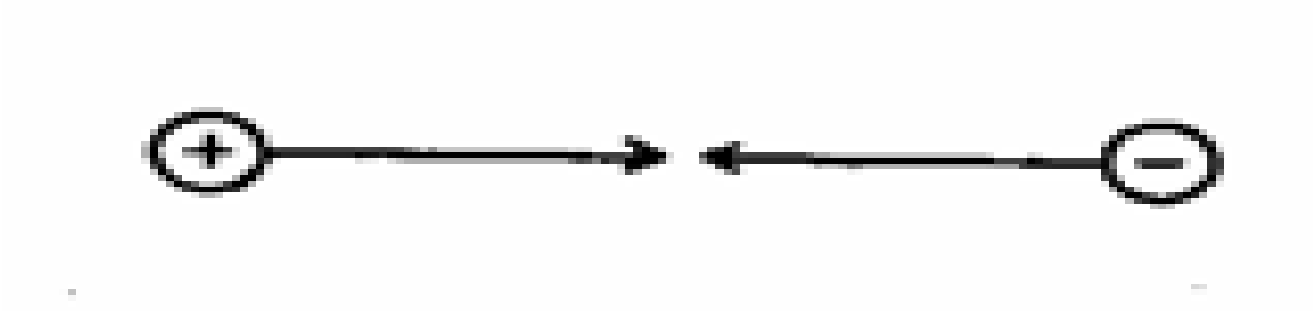
- ประจุไฟฟ้าลบ (Negative charge) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ประจุลบ (–) เป็นประจุที่เกิดบนแท่งอำพัน เมื่อถูด้วยผ้าด้วยผ้าขนสัตว์

แรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างประจุไฟฟ้า แบ่งได้ 2 ชนิด

- แรงดึงดูดกัน เป็นแรงกระทำระหว่างประจุต่างชนิดกัน
- แรงผลักกัน เป็นแรงกระทำระหว่างประจุชนิดเดียวกัน



ประจุเหมือนกัน เกิดแรงผลักกัน



ประจุต่างกัน เกิดแรงดึงดูดกัน

กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า(Conservation of Charge)

- การทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าไม่ใช่เป็นการสร้างประจุขึ้นใหม่ แต่เป็นเพียงการย้ายประจุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยที่ผลรวมของจำนวนประจุทั้งหมดของระบบที่พิจารณาจะเท่าเดิมเสมอ

โปรตอน(p) มีประจุ $+1.6 \times 10^{-19}$ C มีมวล 1.67×10^{-27} kg

อิเล็คตรอน(e) มีประจุ -1.6×10^{-19} C มีมวล 9.1×10^{-31} kg

นิวตรอน(n) เป็นกลาง มีมวล 1.67×10^{-27} kg

โดยปกติอะตอมของธาตุจะเป็นกลางทางไฟฟ้า เพราะว่าในภาวะปกติอะตอมมีจำนวนโปรตอนและจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน แต่ถ้าเมื่อใดที่จำนวนอนุภาคทั้งสองไม่เท่ากัน วัตถุนั้นจะแสดงอำนาจทางไฟฟ้าออกมา

โดยจะแสดงความเป็นประจุบวกเมื่อมีจำนวนโปรตอนมากกว่าอิเล็กตรอน แต่ถ้าจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าโปรตอนวัตถุจะแสดงอำนาจทางไฟฟ้าเป็นประจุลบ การแสดงอำนาจความเป็นประจุขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง

จึงสรุปได้ว่า อะตอมใดที่เสียอิเล็กตรอนไปจะมีประจุลบลดลง ทำให้วัตถุนั้นแสดงอำนาจเป็นบวก ส่วนอะตอมใดที่รับอิเล็กตรอน จะมีประจุลบเพิ่มขึ้นอะตอมนั้นวัตถุนั้นจะแสดงอำนาจเป็นประจุลบ

ตัวนำไฟฟ้า (Conductor)

คือ วัตถุที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้สะดวก ตลอดเนื้อวัตถุได้ง่าย เช่น โลหะต่าง ๆ

ฉนวนไฟฟ้า (Insulator)

คือ วัตถุที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปได้ไม่สะดวก หรือไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไปได้ เช่น ยาง กระเบื้องเคลือบ แก้ว เป็นต้น

การทำให้วัตถุตัวนำเกิดประจุ

1. การขัดถู

2. การสัมผัส (แตะ)

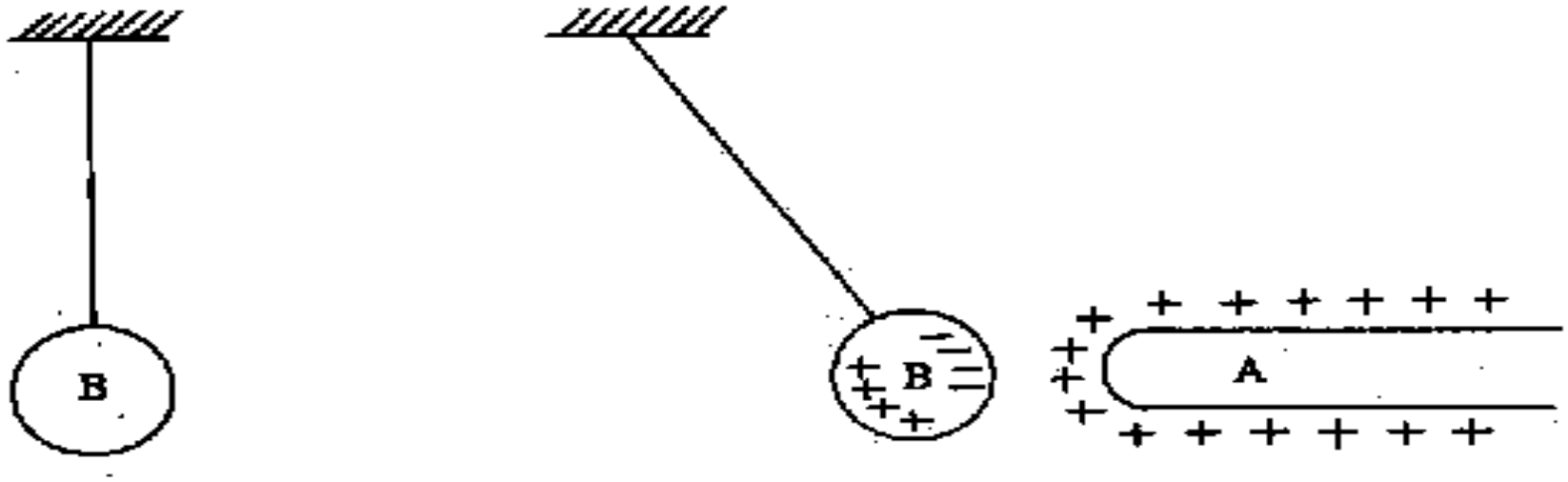
3. การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ตาราง 2 แสดงลำดับรายชื่อ สารที่นำมาถูกัน

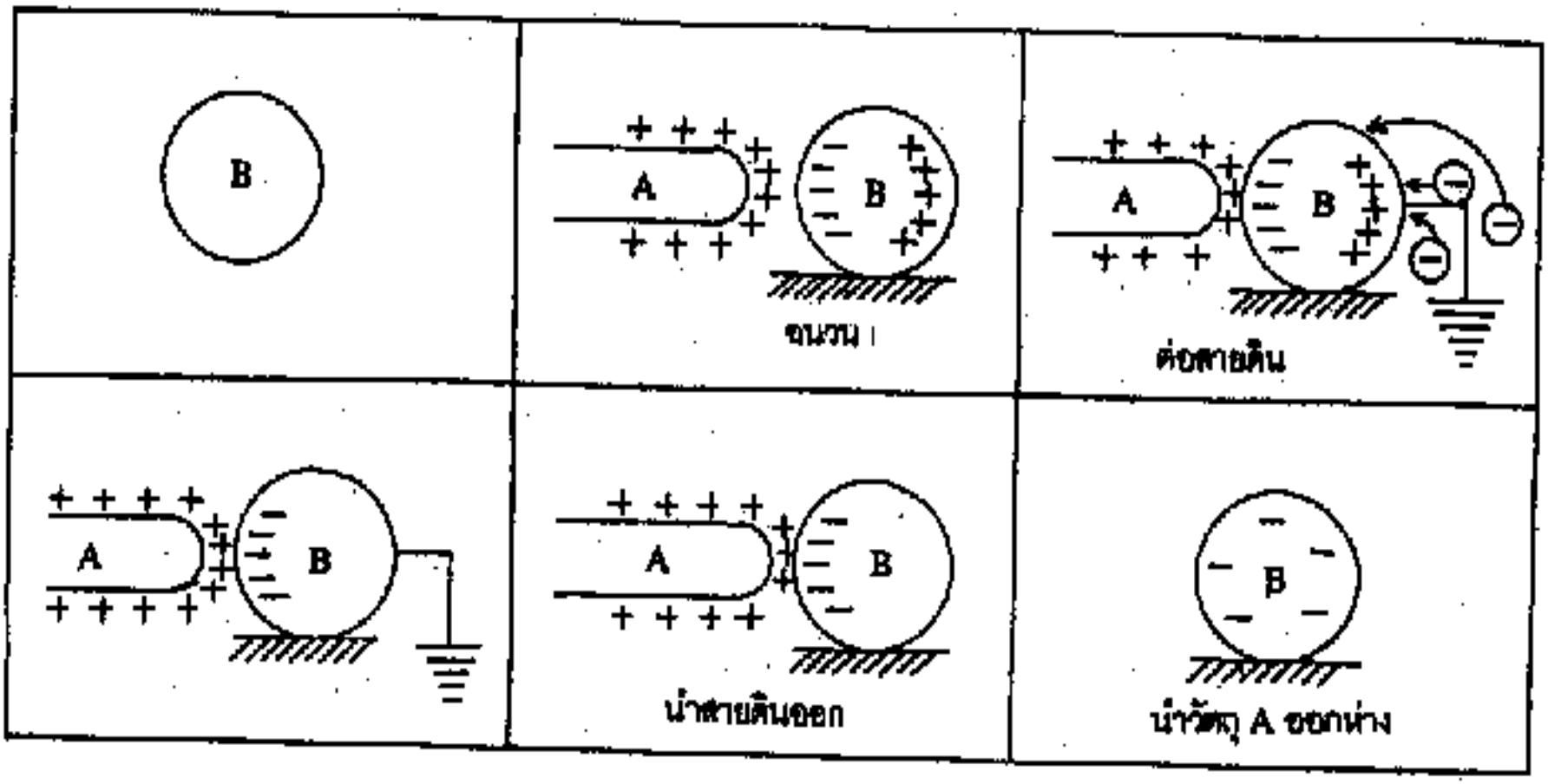
1.ขนสัตว์	11.แก้วผิวขรุขระ
2.ขนแกะหรือสักหลาด	12.ผิวหนัง
3.ไม้	13.โลหะต่าง ๆ
4.เชลแลค (shellac)	14.ยางอินเดีย (India rubber)
5.ยางสน	15.อำพัน
6.ครั่ง	16.กำมะถัน
7.แก้วผิวเกลี้ยง	17.อิโบไนต์ (ebonite)
8.ผ้าฝ้าย หรือสำลี	18.ยาง Gutta-perchta
9.กระดาษ	19.ผ้าแพร Amalgamated
10.ผ้าแพร	20.เซลลูลอยด์ (Celluloid)

การเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electric induction)

- คือ การนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้วัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะทำให้เกิดประจุชนิดตรงข้ามบนตัวนำด้านที่ใกล้วัตถุ



เมื่อนำวัตถุ A ซึ่งมีประจุบวก มาวางใกล้ตัวนำวัตถุ B ที่เป็นกลางซึ่งถูกผูกแขวนด้วยด้าย ดังรูป 4 แรงจากประจุบวกบนวัตถุ A จะส่งมากระทำต่ออิเล็กตรอนบนผิววัตถุตัวนำ B ทำให้ผิววัตถุ B ด้านที่อยู่ใกล้วัตถุ A มีอิเล็กตรอน มากกว่าด้านที่อยู่ไกลวัตถุ A ทำให้ผิววัตถุ B ด้านที่อยู่ใกล้วัตถุ A มีประจุลบ ส่วนด้านที่อยู่ไกล มีประจุบวก


B
A
B
ขนาน
A
B
ต่อสายดิน
A
B
A
B
นำสายดินออก
B
นำวัตถุ A ออกห่าง

อิเล็กโทรสโคป (Electroscope)

เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบประจุไฟฟ้าสถิต

ซึ่งในชั้นนี้จะศึกษาเพียง 2 ชนิด คือ

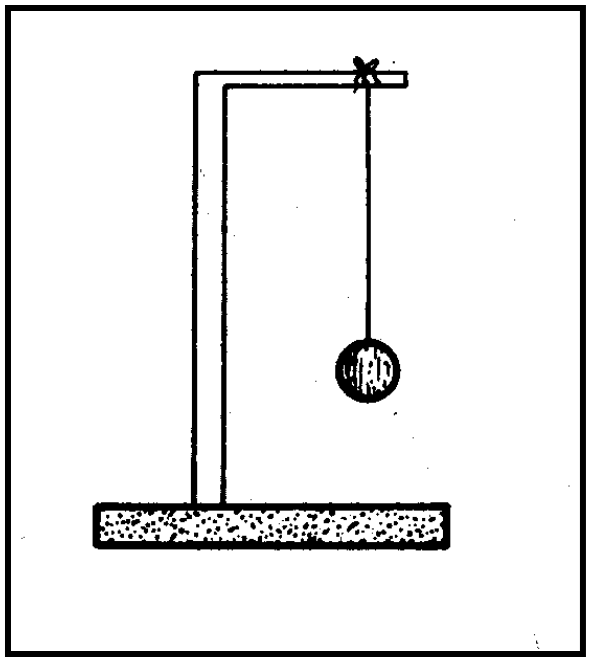
1. อิเล็กโทรสโคปลูกพิท (pith ball electroscope)

2.อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ (leaf electroscope)

อิเล็กโทรสโคปลูกพิท (pith ball electroscope)

เป็นอิเล็กโทรสโคปแบบง่าย ประกอบด้วยลูกกลมเล็กเล็ก ๆ ทำด้วยไส้ไม้โสนหรือไส้หญ้าปล้อง หรือโฟมฉาบด้วยโลหะ ซึ่งมีน้ำหนักเบามาก ตัวลูกกลม แขวนด้วยเส้นด้ายหรือไหมเส้นเล็ก ๆ ไว้ในแนวดิ่งจากปลายเสาที่ตั้งอยู่บน

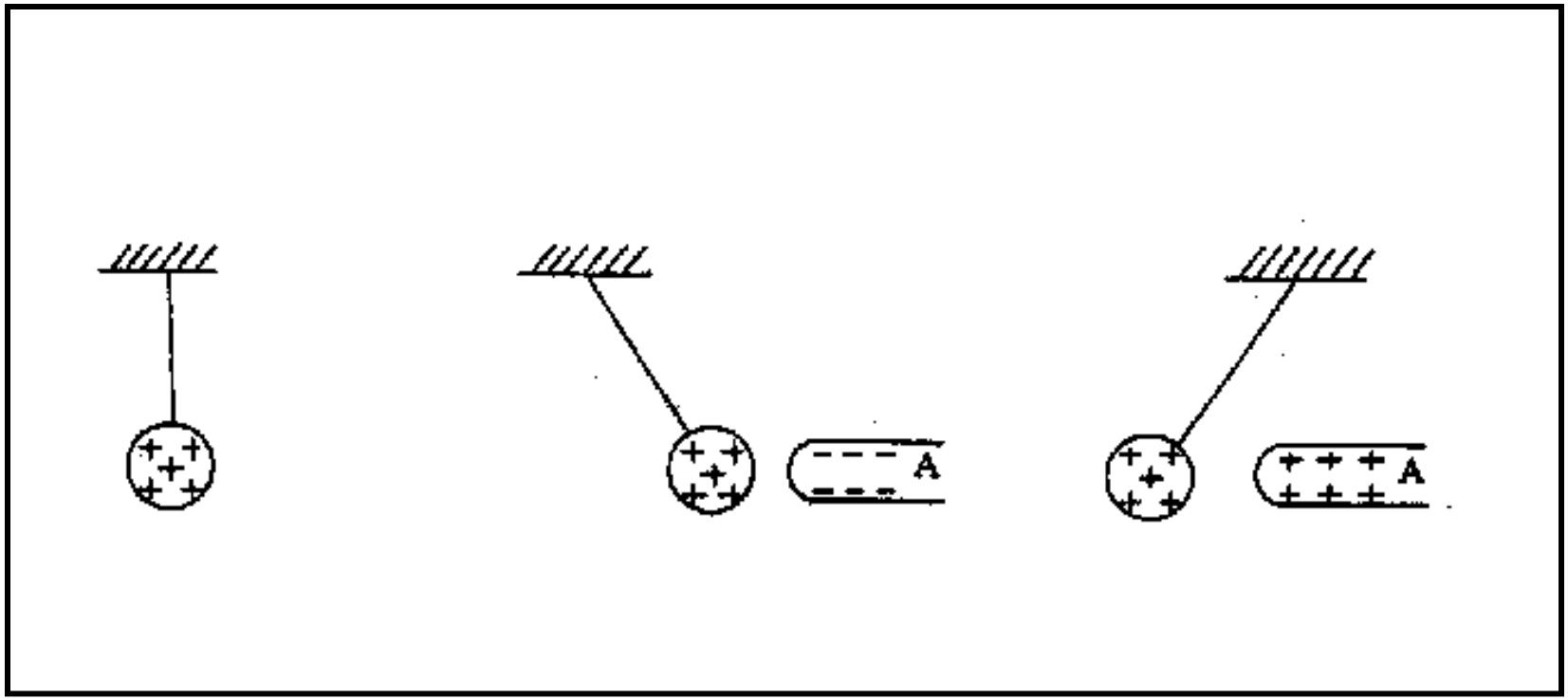
แท่นฉนวนไฟฟ้าดังรูป



ขั้นตอนในการใช้อิเล็กโทรสโคปลูกพิทตรวจสอบวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าหรือไม่ถ้ามีประจุจะเป็นประจุชนิดใด

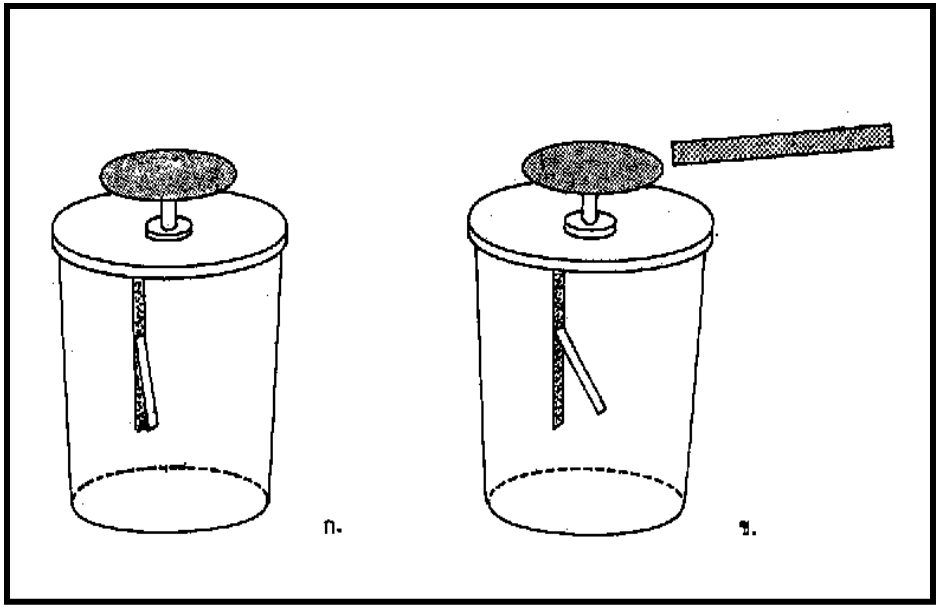
1. ทำให้ลูกพิทเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยการต่อลงดินหรือใช้มือสัมผัส
2. นำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบว่ามีประจุหรือไม่มาวางใกล้ๆลูกพิท แล้วสังเกตการเบี่ยงเบนของลูก พิท

3. วิธีการตรวจสอบชนิดของประจุบนวัตถุ A โดยให้ประจุที่ทราบชนิดแล้วให้แก่ลูกพิทแล้วนำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมาวางใกล้ๆลูกพิทอีกครั้ง แล้วสังเกตการเบนของลูกพิท



อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ (leaf electroscope)

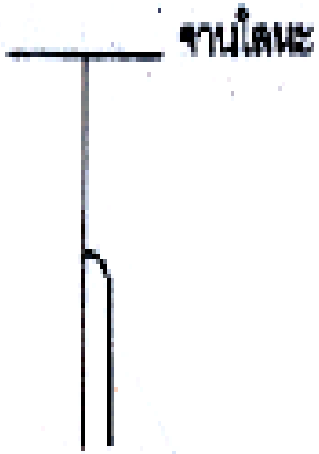
อิเล็กโทรสโคปชนิดนี้ประกอบด้วยแท่งโลหะด้านบนเชื่อมติดกับจานโลหะชนิดเดียวกัน ซึ่งมักใช้อะลูมิเนียม ปลายล่างแท่งโลหะมีแผ่นโลหะ (อะลูมิเนียม) บาง ๆ ติดไว้ โดยแท่งโลหะถูกเสียบและยึดไว้โดยกระบอกพลาสติกหรือขวดแก้ว ดังรูป



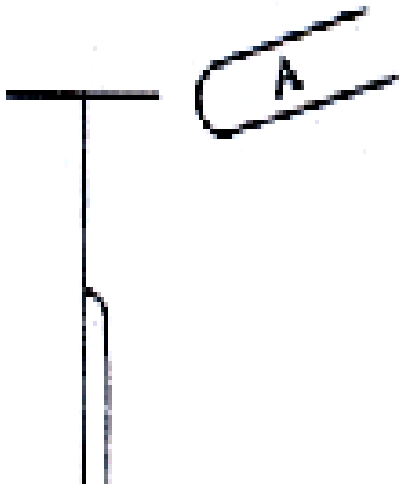
ขั้นตอนในการใช้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะเพื่อตรวจสอบวัตถุว่ามีประจุไฟฟ้าหรือไม่ ถ้ามีประจุจะเป็นประจุชนิดใด

1. ทำให้แผ่นโลหะเป็นกลางทางไฟฟ้าโดยการต่อลงดิน หรือใช้มือสัมผัสที่จานโลหะด้านบนเสียก่อนสังเกตแผ่นโลหะจะหุบติดแกน แสดงว่าเป็นกลางแล้ว

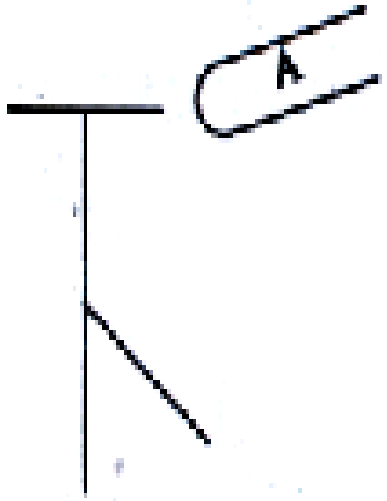
2. นำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบประจุมาวางใกล้ๆจานโลหะแล้วสังเกตการณ์กางของแผ่น



แผ่นโลหะหุบแสดงว่าเป็นกลาง

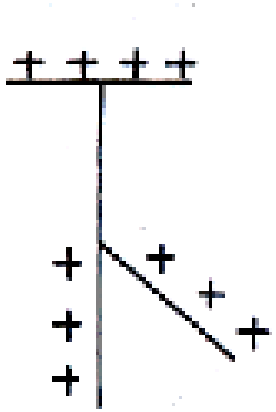


แผ่นโลหะไม่กางแสดงว่า
วัตถุ A ไม่มีประจุ

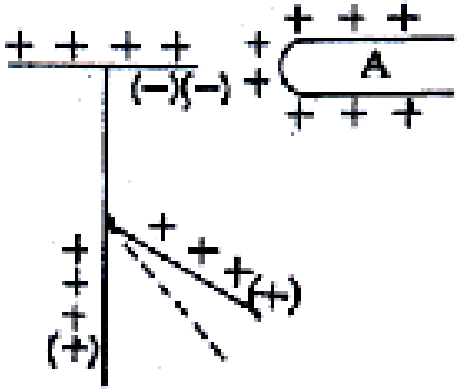


แผ่นโลหะกางออกแสดงว่า
วัตถุ A มีประจุ

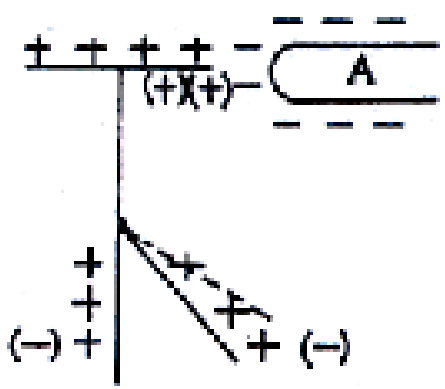
3. ให้ประจุที่ทราบชนิดแก่จานโลหะด้านบน แล้วนำวัตถุที่ต้องการตรวจสอบชนิดของประจุมาวางใกล้ๆจานโลหะอีกครั้ง แล้วสังเกตการกางหรือหุบของแผ่นโลหะด้านล่าง



สมมติให้ประจุบวก
แก่จานโลหะ



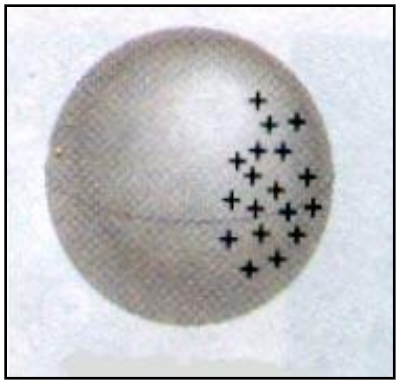
ถ้าวัตถุ A มีประจุบวก
(ชนิดเดียวกัน)
แผ่นโลหะจะกางออกมากขึ้น



ถ้าวัตถุ A มีประจุลบ
(ชนิดตรงข้ามกัน)
แผ่นโลหะจะหุบเข้า

วัตถุที่เป็นฉนวน

เมื่อทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้น ณ ส่วนใดของวัตถุที่เป็นฉนวนประจุก็จะปรากฏอยู่แต่เฉพาะส่วนนั้น จะไม่กระจายไปสู่ส่วนอื่นๆ ทั้งนี้เพราะสมบัติของฉนวนประจุจะถ่ายเทได้ไม่สะดวก

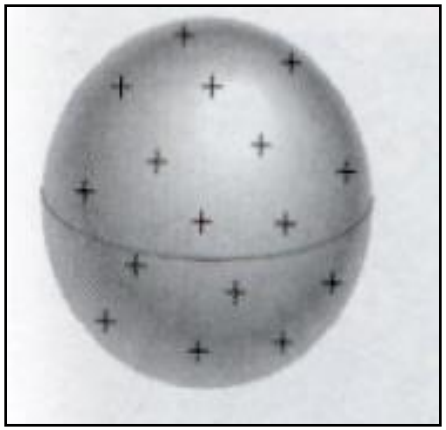


Plastic Ball

Charge on Insulators

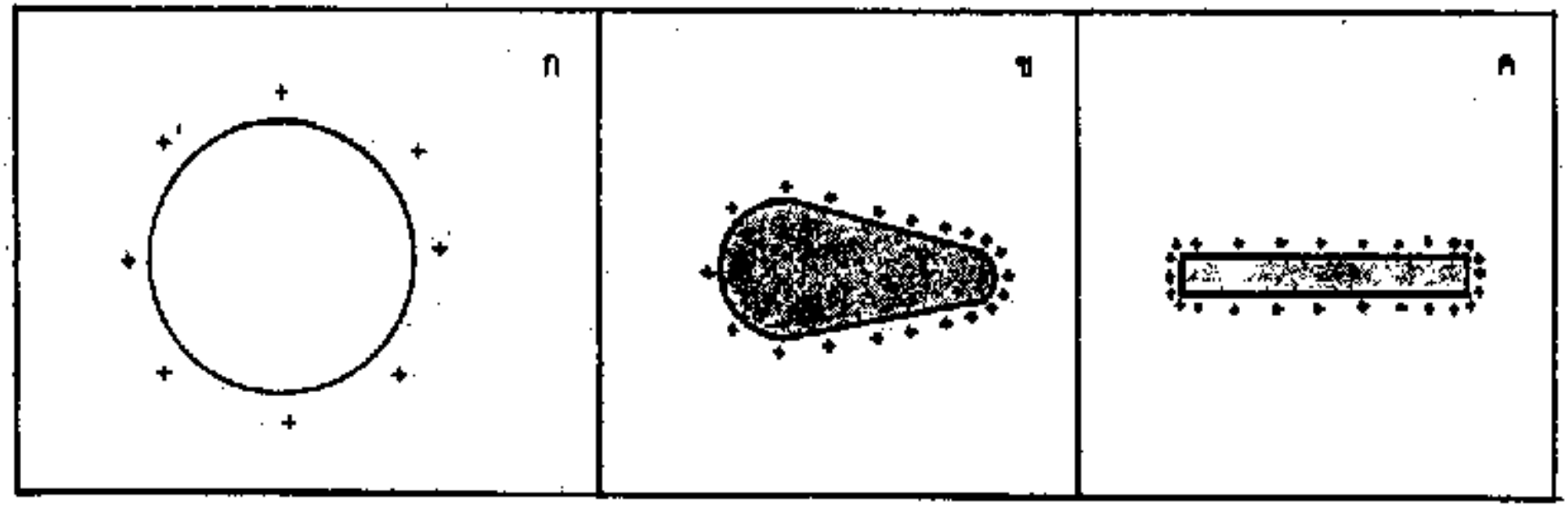
วัตถุที่เป็นตัวนำ

Charge on Metals



Metal Ball

เมื่อทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้น ณ ส่วนใดของวัตถุที่เป็นตัวนำ ประจุจะกระจายไปทั่วทั้งก้อนของวัตถุนั้นและจะหยุดกระจายก็ต่อเมื่อศักย์ไฟฟ้าบนตัวนำมีค่าเท่ากันตลอดทั้งก้อนวัตถุ ทั้งนี้เพราะสมบัติของตัวนำประจุสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้สะดวกบนตัวนำ



<u>การกระจายของประจุบนตัวนำมีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจดังนี้คือ</u>

1. ประจุจะกระจายอยู่เฉพาะผิวนอกของตัวนำเท่านั้น

2. ประจุจะปรากฏหนาแน่นในบริเวณที่เป็นปลายแหลม

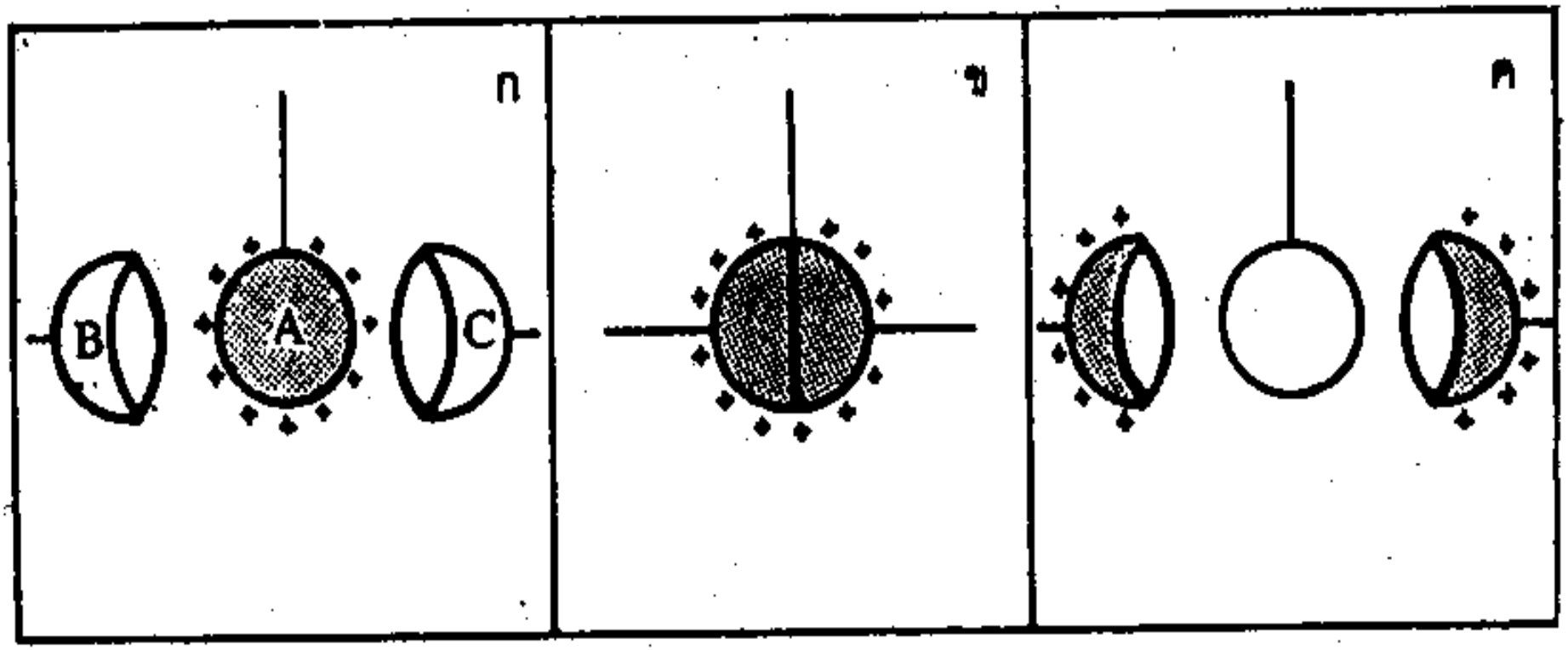
การทดสอบที่แสดงว่าประจุจะกระจายอยู่เฉพาะผิวนอกของตัวนำเท่านั้น

- การทดสอบของบิโอต์ (Biot' s experiment)
- การทดลองถุงจับผีเสื้อของฟาราเดย์
- การทดลองกระป๋องน้ำแข็งของฟาราเดย์

  (Faraday ' s icepail experiment)

การทดสอบของบิโอต์ (Biot' s experiment)

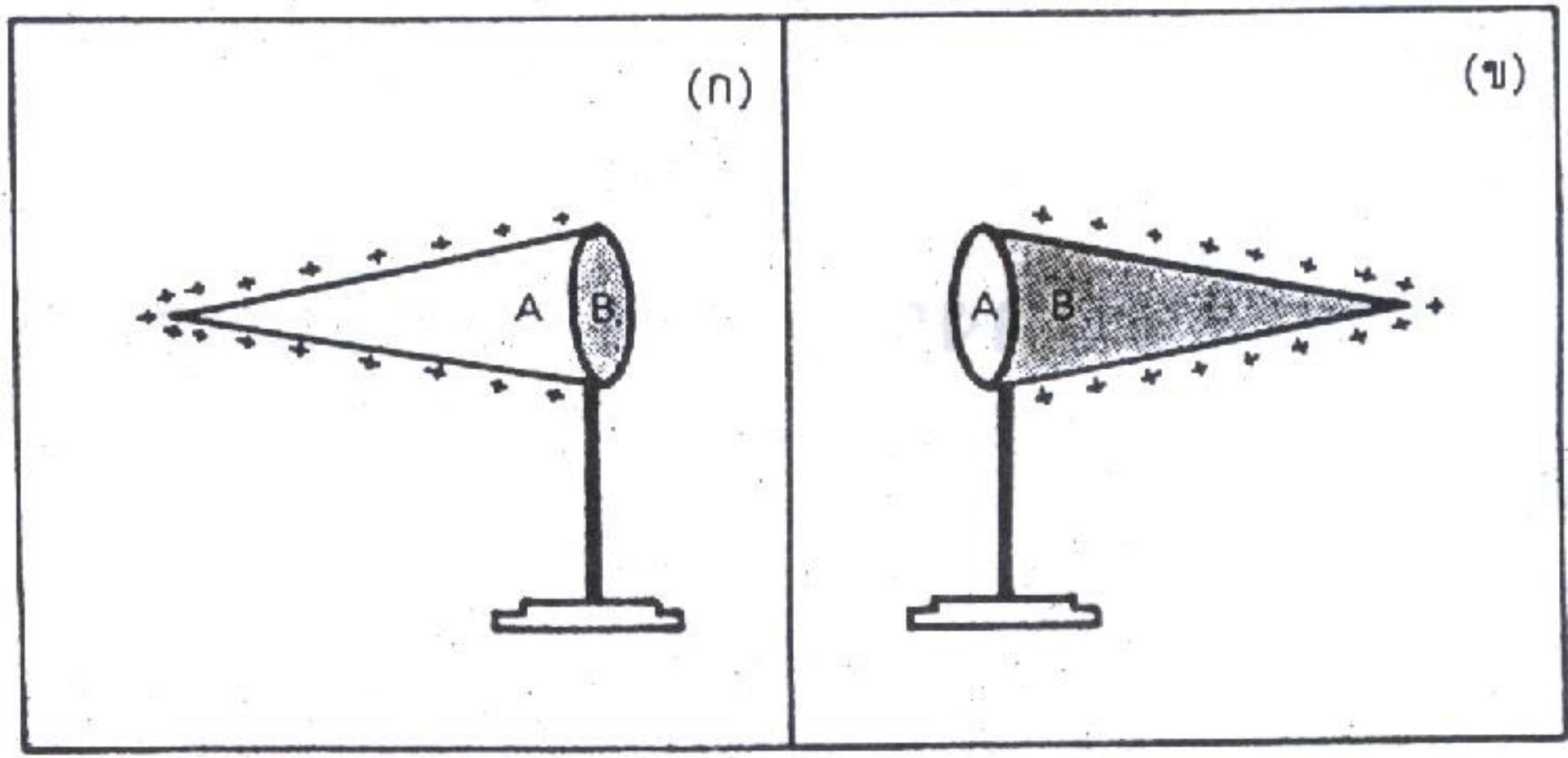
การทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ประกอบด้วยลูกกลมโลหะ A ซึ่งแขวนไว้ด้วยฉนวน B และ C เป็นฝาครอบโลหะแต่ละอันเป็นรูปครึ่งลูกกลมกลวง ซึ่งเมื่อนำมาครอบลูกกลม A แล้วจะครอบลูกกลม A แล้วจะครอบได้สนิทโดยผิวแตะกันได้พอดี ฝาครอบ B และ C มีด้ามจับเป็นฉนวน เวลาทดลองให้ทำการให้ประจุไฟฟ้าอิสระแก่ลูกกลม A แล้วจึงนำฝาครอบ B และ C มาครอบลูกกลม A ให้สนิท แล้วดึงออก ดังรูป



จากการทดลองพบว่าที่ผิวนอกของฝาครอบ B และ C มีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันกับประจุไฟฟ้าที่ให้กับ A ส่วนที่ผิวในของฝาครอบ และที่ลูกกลม A ไม่มีประจุไฟฟ้าเลย

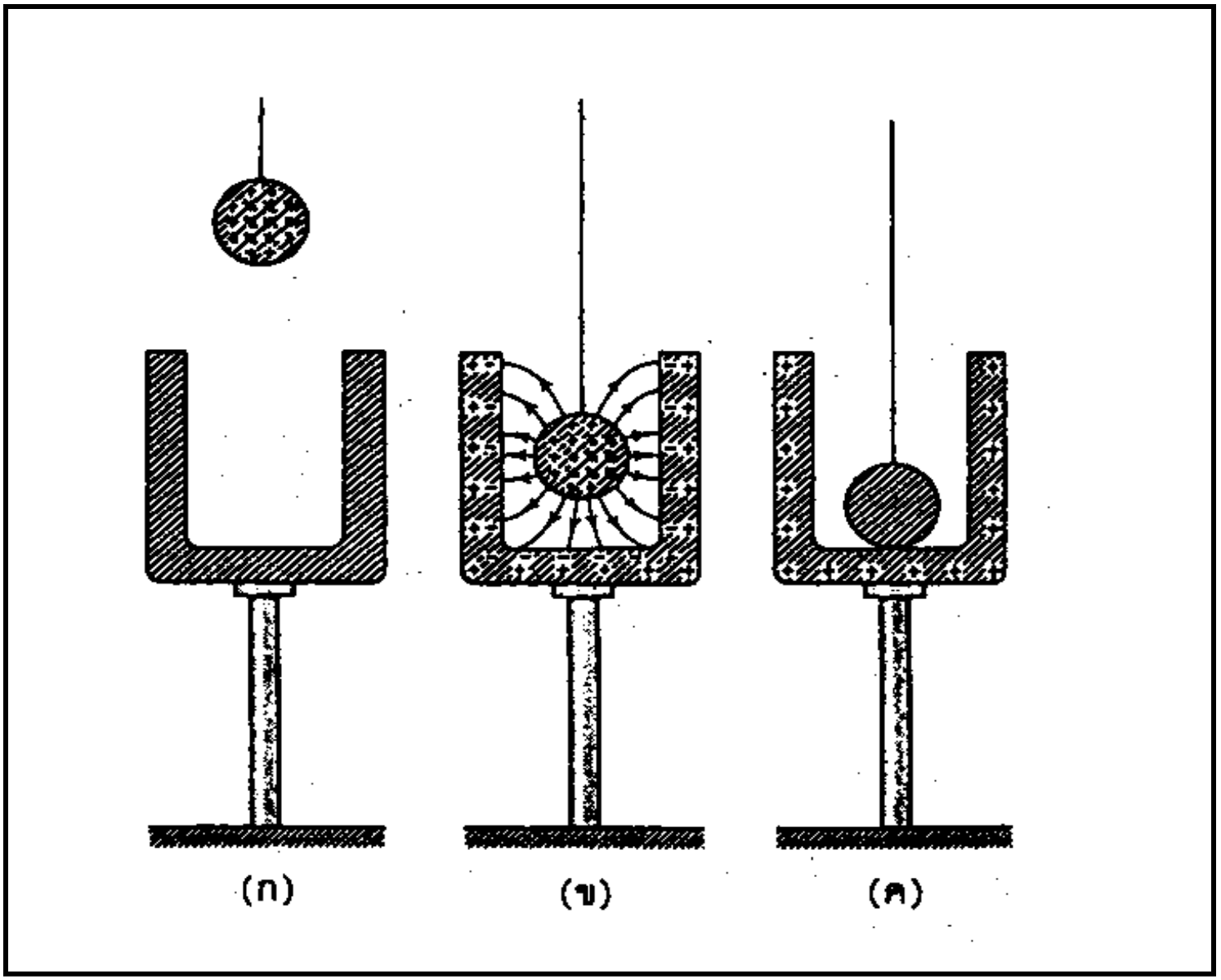
การทดลองถุงจับผีเสื้อของฟาราเดย์

การทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ประกอบด้วยถุงจับผีเสื้อทำด้วยผ้าลินิน เป็นรูปกรวยแหลม มีเส้นไหมหรือเส้นด้าย ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า ร้อยติดกับก้นถุง สำหรับใช้ดึงให้ตัวถุงกลับด้านในมาเป็นด้านนอกได้ ปากถุงขึงตึงและตั้งอยู่บนแกนซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้า เวลาทดลองให้ทำการให้ประจุไฟฟ้าอิสระแก่ด้านนอกของตัวถุง นำถุงไปทดลองวัดประจุจะปรากฏว่าด้านในของถุงไม่มีประจุไฟฟ้าเลย ต่อไปให้ดึงเส้นด้ายเพื่อให้ตัวถุงกลับด้านในออกมาเป็นด้านนอก แล้วนำถุงไปทดลองวัดประจุจะปรากฏว่าด้านนอกมีประจุไฟฟ้า (ซึ่งเดิมเป็นด้านในและไม่มีประจุไฟฟ้า) และด้านในไม่มีประจุไฟฟ้าเลย (ซึ่งเดิมเป็นด้านนอกและไม่มีประจุไฟฟ้า) ดังรูป


(ก)
A
B
(ข)
A
B

การทดลองกระป๋องน้ำแข็งของฟาราเดย์ (Faraday ’ s icepail experiment)

การทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ประกอบด้วย กระป๋องโลหะ ซึ่งตั้งอยู่บนฉนวน ก่อนทดลองต้องทำให้กระป๋องมีสภาพเป็นกลางก่อน แล้วจึงเริ่มทำการทดลองโดยให้ประจุไฟฟ้าอิสระชนิดใดก็ได้แก่ ลูกกลมโลหะ ซึ่งผูกแขวนด้วยเส้นเชือกซึ่งเป็นฉนวนจากนั้นค่อย ๆ หย่อนลูกกลมโลหะลงไปภายในกระป๋อง จนกระทั่งลูกกลมแตะก้นกระป๋องแล้วดึงลูกกลมออกจากกระป๋อง จากนั้นทำการวัดประจุของลูกกลมโลหะและกระป๋อง จะพบว่า ลูกกลมโลหะไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่เลยและที่ด้านในของกระป๋องก็ไม่มีประจุไฟฟ้าเช่นกัน แต่ที่ผิวด้านนอกของกระป๋องจะมีประจุไฟ้าชนิดเดียวกันที่ให้แก่ลูกกลมโลหะในตอนแรก ดังรูป


(ก)
(ข)
(ค)

จากการทดลองทั้ง 3 ที่ยกตัวอย่างมานี้พอสรุปได้ว่า

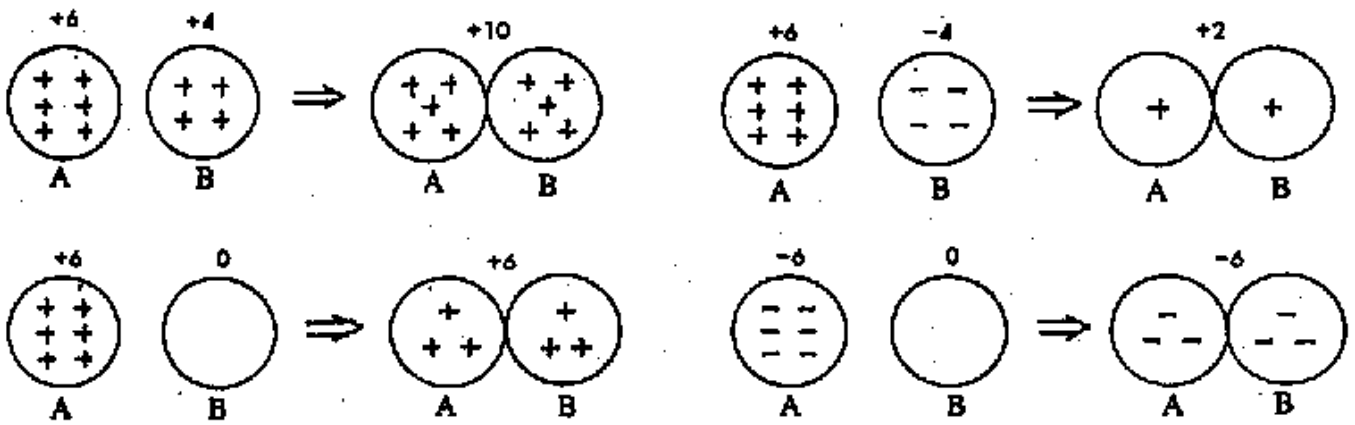
วัตถุตัวนำที่มีประจุไฟฟ้าอิสระไม่ว่าตัวนำนั้น ๆ จะตันหรือกลวงประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ทั้งหมดนั้นย่อมจะไปปรากฏอยู่แต่ที่บนผิวนอกของตัวนำนั้น ๆ เท่านั้น

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลม

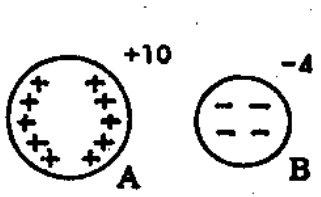
การถ่ายเทประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลม หลักการถ่ายเทประจุไฟฟ้ามีดังนี้

1. ในการถ่ายเทปริมาณประจุไฟฟ้าคงที่เสมอ คือ ประจุไฟฟ้ารวมก่อนถ่ายเทจะเท่ากับประจุไฟฟ้ารวมหลังถ่ายเท

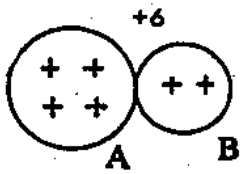
2.



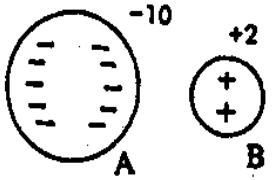
ทรงกลม A มีรัศมี 2 เท่าของทรงกลม B



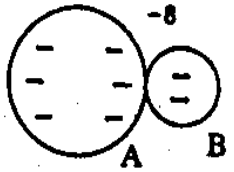
A มีประจุเป็น 2 เท่าของ B



ทรงกลม A มีรัศมี 3 เท่าของทรงกลม B



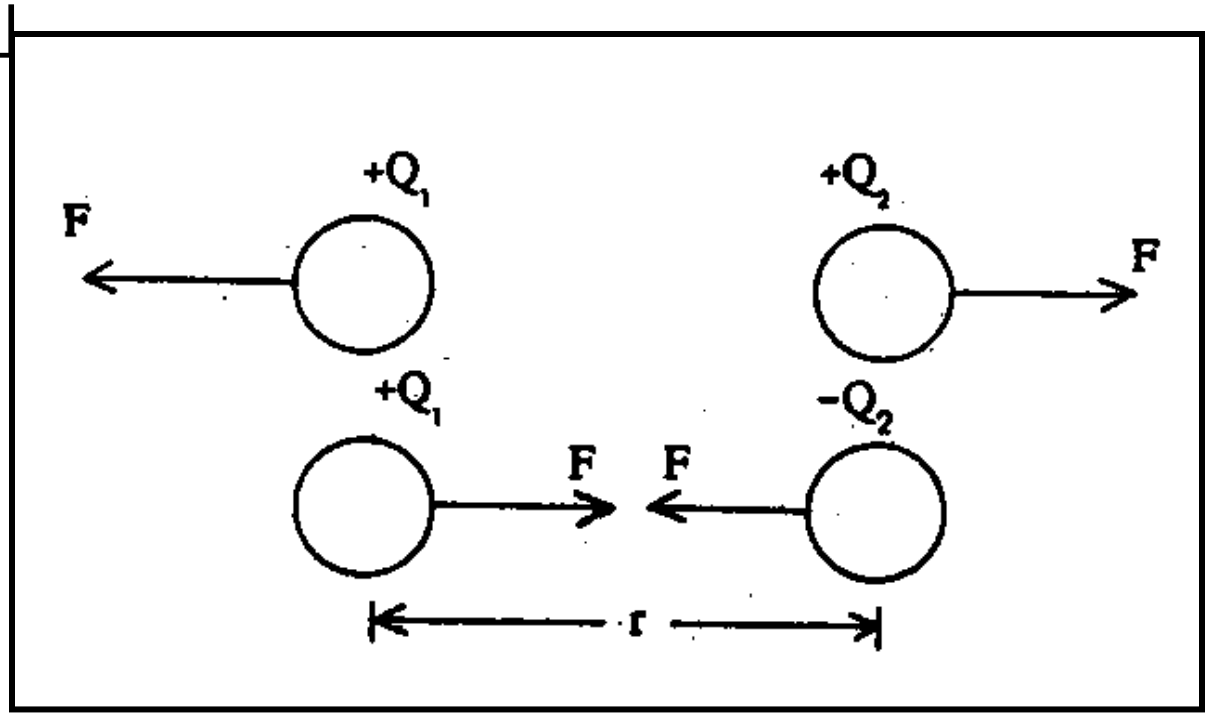
A มีประจุเป็น 3 เท่าของ B



3. หลังการถ่ายเท วัตถุที่มีขนาดเท่ากันจะมีประจุไฟฟ้าเท่ากัน ถ้าวัตถุมีขนาดไม่เท่ากัน วัตถุที่มีขนาดใหญ่จะมีประจุไฟฟ้ามากกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า กรณีตัวนำรูปทรงกลมประจุบนตัวนำหลังถ่ายเทแล้วจะแปรโดยตรงกับรัศมีของทรงกลม

แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์

Charles Augustin de Coubomb นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแรงระหว่างประจุแล้วตั้งทฤษฎีขึ้นมาโดยอาศัยหลักที่ว่าประจุเหมือนกันและประจุต่างกันจะดึงดูดกัน ดังรูป



คูลอมบ์สรุปได้ว่า แรงระหว่างประจุจะเป็นสัดส่วนกับผลคูณของประจุ และแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างประจุยกกำลังสอง ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

และ $F \propto$

กฎของแรงระหว่างประจุสามารถเขียนได้ใหม่ในรูปสมการได้ว่า

$$F = \frac{KQ_1Q_2}{r^2}$$

จากสมการที่ได้นี้เรียกว่า กฎของคูลอมบ์ (Coulomb’ s law)

ค่า **K** หาได้จากการทดลองมีค่า 8.9874×10^9 N-m^2 /C^2

โดยสามารถหาค่า **K** ได้จากสมการ

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

เมื่อ ε_0 คือสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในสุญญากาศ

เท่ากับ 8.85×10^{-12} C^2 /N-m^2 โดยทั่วไปในการคำนวณจะใช้ค่า

$k = 9 \times 10^9$ N-m^2 /C^2

ลักษณะของแรงกระทำระหว่างประจุ มีดังนี้

(1) ประจุเหมือนกันจะออกแรงผลักกัน ส่วนประจุต่างกัน จะออกแรงดึงดูดกัน

(2) แรงกระทำระหว่างประจุเป็นแรงกระทำร่วม จึงมีขนาดเท่ากัน แต่ทิศทางตรงข้ามกัน

(3) ถ้าบนประจุใดมีแรงกระทำหลายแรง ในการคำนวณต้องหาแรงลัพธ์แบบการหาเวกเตอร์