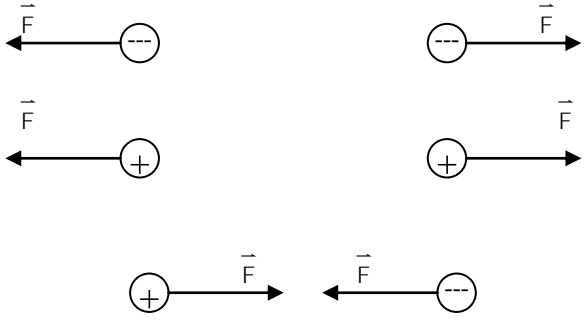
รายวิชา ฟิสิกส์ 4	ใบความรู้ 1	รหัสวิชา ว33201
ระดับชั้น ม. 6		ร.ร.เทศบาลวัดกลาง
ประจุไฟฟ้า และแรงระหว่างประจุ		

ประจุไฟฟ้า (Electric charge)

ทาลีส นักปราชญ์ชาวกรีก ได้พบว่าถ้านำเอาแท่งอำพันมาถูกับผ้าขนสัตว์แล้ว แท่งอำพันนั้นจะสามารถดูดวัตถุเบาๆ ได้ อำนาจที่เกิดขึ้นนี้ถูกเรียกว่า ไฟฟ้า ต่อมาพบว่ามีวัตถุบางชนิดเช่นพลาสติก เมื่อนำมาถูกับผ้าสักหลาดจะสามารถดึงดูดวัตถุเบาๆได้ และแรงดึงดูดนี้ไม่ใช่แรงดึงดูดระหว่างมวลเพราะจะเกิดขึ้นภายหลังที่มีการนำวัตถุดังกล่าวมาถูกันเท่านั้น และเรียกว่าสิ่งที่ทำให้เกิดแรงนี้คือ ประจุไฟฟ้า หรือเรียกสั้นๆว่า ประจุ

จากการนำเอาแผ่นพีวีซีถูด้วยผ้าสักหลาดและแผ่นเปอร์สเปกซ์ถูด้วยผ้าสักหลาดแล้วนำมาเข้าใกล้กันจะเกิดแรงดึงดูดกัน แต่ถ้าเรานำเอาแผ่นพีวีซี 2 แผ่นมาถูด้วยผ้าสักหลาดแล้วนำแผ่นทั้งสองเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน หรือแผ่นเปอร์สเปกซ์ 2 แผ่นมาถูด้วยผ้าสักหลาด แล้วนำแผ่นทั้งสองเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน แสดงว่ามีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นกับวัตถุ 2 ชนิด คือ ประจุไฟฟ้าที่เกิดกับแผ่นพีวีซี และที่เกิดกับแผ่นเปอร์สเปกซ์ โดยประจุไฟฟ้าที่เกิดกับวัตถุ 2 ชนิดคือ ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ หรือ เรียกสั้นๆว่า ประจุบวก และประจุลบ โดยแรงระหว่างประจุมี 2 ชนิดคือ แรงดูด และแรงผลัก โดยประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน ส่วนประจุต่างชนิดกันจะดูดกัน อาจเขียนทิศของแรงกระทำระหว่างอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

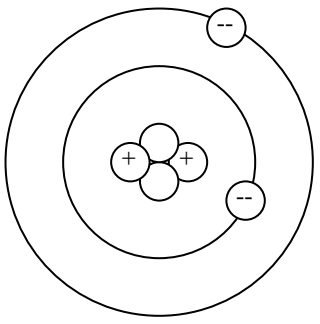


รูป แรงระหว่าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า

ต่อมาพบว่า วัตถุทุกชนิด ประกอบด้วย อะตอม โดยอะตอมประกอบด้วย

นิวเคลียส ซึ่งเป็นแกนกลางของอะตอม ประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกเรียกว่า โปรตอน และอนุภาคที่มีไม่มีประจุ เรียกว่า นิวตรอน

อิเล็กตรอน มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ วิ่งวนอยู่รอบๆนิวเคลียส ด้วยพลังงานที่คงตัวค่าหนึ่ง



รูป โครงสร้างอะตอม

ตารางโครงสร้างของอะตอม

อนุภาค	มวล (kg)	ประจุไฟฟ้า (C)
อิเล็กตรอน (e)	9.1×10^{-31}	1.6×10^{-19}
โปรตอน (P)	1.67×10^{-27}	1.6×10^{-19}
นิวตรอน (n)	1.67×10^{-27}	เป็นกลางไม่มีประจุ

เราสามารถหาขนาดประจุไฟฟ้าบนวัตถุใดๆได้จากสมการ

$$Q = ne$$

เมื่อ Q คือ ประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

n คือ จำนวนประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น อนุภาค (ตัว)

e คือ ขนาดอิเล็กตรอน 1 อนุภาค หรือ โปรตอน 1 อนุภาค เท่ากับ 1.6×10^{-19} C

ตัวอย่างที่ 1 วัตถุหนึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไป 500 ตัว แสดงว่าวัตถุนี้มีประจุไฟฟ้าชนิดใด และมีขนาดกี่คูลอมบ์

วิธีทำ เพราะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนไป ทำให้มีประจุไฟฟ้าบวกมากว่า ดังนั้นวัตถุนี้ จึงมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และหาขนาดได้จากสมการ

$$\mathbf{Q = ne}$$

$$= (500)(1.6 \times 10^{-19})$$

$$= 8 \times 10^{-17} \text{ C}$$

ตอบ ประจุไฟฟ้า บวก และมีขนาด 8×10^{-17} คูลอมบ์

ตัวอย่างที่ 2 วัตถุ A มีประจุ -4.8×10^{-3} ไมโครคูลอมบ์ แสดงว่า วัตถุ A มีการรับอิเล็กตรอนหรือให้โปรตอนไปกี่อนุภาค

วิธีทำ เพราะวัตถุ A มีประจุลบ แสดงว่าวัตถุA จะต้องรับอิเล็กตรอนมา เนื่องจากประจุลบคืออิเล็กตรอนจะอยู่วงนอกสุดของอะตอม มีมวลน้อย และพลังงานยึดเหนี่ยวน้อย จึงหลุดเป็นอิสระถ่ายเทได้ง่าย สามารถหาจำนวนอิเล็กตรอนที่รับมาได้จากสมการ

$$\mathbf{Q = ne}$$

$$n = \frac{Q}{e}$$

$$n = \frac{\left(4.8 \times 10^{-3} \times 10^{-6}\right)}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$n = 3 \times 10^{10} \text{ อนุภาค}$$

ตอบ รับอิเล็กตรอน และมีจำนวน 3×10^{10} อนุภาค

กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า (Conservation of charge)

วัตถุชิ้นหนึ่งๆ ประกอบด้วย อะตอมจำนวนมาก แต่ละอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุบวกเรียกว่า โปรตอน และอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า เรียกว่า นิวตรอน นอกนิวเคลียสมีอนุภาคที่มีประจุลบ เรียกว่า อิเล็กตรอน เคลื่อนที่รอบนิวเคลียส ด้วย พลังงานในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่ง อะตอมที่มีจำนวนโปรตอนและจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากันจะไม่แสดงอำนาจไฟฟ้า ซึ่งเราเรียกว่าอยู่ในสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ส่วนวัตถุที่มี จำนวนอนุภาคทั้งสองไม่เท่ากันจะอยู่ในสภาพวัตถุมีประจุไฟฟ้าและจะแสดงอำนาจไฟฟ้า โดยจะแสดงว่ามีประจุบวกถ้ามีจำนวนโปรตอนมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนหรือในทางกลับกันจะแสดงว่ามีประจุลบ ถ้าจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน

อะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้านั้นผลรวมระหว่างประจุของโปรตอนและประจุของอิเล็กตรอนในอะตอมมีค่าเป็นศูนย์ และเนื่องจากอะตอมที่เป็นกลางมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนแสดงว่าประจุของอิเล็กตรอนกับประจุของอิเล็กตรอนต้องมีค่าเท่ากัน

จากความรู้นี้เราจะพิจารณาต่อไปได้ว่า การทีอิเล็กตรอนหลุดหลุดจากอะตอมหนึ่งไปสู่อีกอะตอมหนึ่ง ย่อมทำให้อะตอมที่เสียอิเล็กตรอนไปมีประจุลบลดลง ส่วนอะตอมที่ได้รับอิเล็กตรอนจะมีประจุลบเพิ่มขึ้น นั่นคือสำหรับอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้าเมื่อเสียอิเล็กตรอนไปจะกลายเป็นอะตอมที่มีประจุบวก ส่วนอะตอมที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจะกลายเป็นอะตอมมีประจุลบ

ดังนั้นในการนำวัตถุมาถูกันแล้วมีผลทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าขึ้นนั้น อธิบายได้ว่าเป็นเพราะงานหรือพลังงานกลเนื่องจากการถูกถ่ายโอนให้กับอิเล็กตรอนของอะตอมบริเวณที่ถูกันทำให้พลังงานของอิเล็กตรอนสูงขึ้นจนสามารถหลุดเป็นอิสระออกจากอะตอมของวัตถุหนึ่งไปสู่อะตอมของอีกวัตถุหนึ่งกล่าวคืออิเล็กตรอนได้ถูกถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่ง วัตถุที่มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจะมีประจุลบส่วนวัตถุที่เสียอิเล็กตรอนจะมีประจุบวก เราจึงสรุปได้ว่าการทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าไม่ใช่เป็นการสร้างประจุขึ้นใหม่ แต่เป็นเดพียงการย้ายประจุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเท่านั้น โดยที่ผลรวมของจำนวนประจุทั้งหมดของระบบที่พิจารณายังคงเท่าเดิม ซึ่งข้อสรุปนี้ก็คือ กฎมูลฐานทางฟิสิกส์ที่มีชื่อว่า กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า นั่นเอง

ตัวนำและฉนวน (Conductor and Insulator)

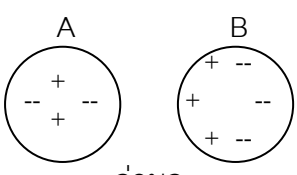
วัตถุใดที่ได้รับการถ่ายเทอิเล็กตรอนแล้วอิเล็กตรอนนั้นยังคงอยู่ ณ บริเวณเดิมต่อไป เรียกว่า **ฉนวนไฟฟ้า** หรือเรียกสั้นๆว่า **ฉนวน** นั่นคืออิเล็กตรอนที่ถูกถ่ายเทให้แก่วัตถุที่เป็นฉนวนจะไม่เคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งในเนื้อวัตถุ กล่าวได้ว่า ในฉนวนประจุไฟฟ้าจะถ่ายเทจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งได้ยาก

วัตถุใดได้รับการถ่ายเทอิเล็กตรอนแล้ว อิเล็กตรอนที่ถูกถ่ายเทสามารถเคลื่อนที่กระจายไปได้ตลอดเนื้อวัตถุโดยง่าย หรืออาจกล่าวได้ว่าอิเล็กตรอนมีอิสระในการเคลื่อนที่ในวัตถุนั้น เรียกวัตถุที่มีสมบัติเช่นนั้นว่า **ตัวนำไฟฟ้า** หรือเรียกสั้นๆว่า **ตัวนำ**

การทำวัตถุที่เป็นกลางให้เกิดประจุมี 3 วิธี

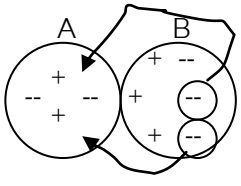
1. การขัดสี (ถู)

เป็นการนำเอาวัตถุที่เป็นกลางมาถูกัน (วัตถุที่นำมาถูกันต้องเป็นฉนวนเช่นผ้าไหมกับแท่งแก้ว) จะทำให้อิเล็กตรอนในวัตถุได้รับความร้อนจากการถูมีพลังงานเพิ่มขึ้นสามารถเคลื่อนที่จากวัตถุอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่งได้ ประจุที่เกิดกับวัตถุทั้งสองชนิดเป็ประจุชนิดตรงข้ามกันแต่ปริมาณ เท่ากัน



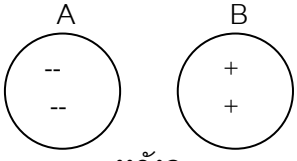
ก่อนถู

วัตถุ Aและ B เป็นกลาง



ขณะถู

อิเล็กตรอนจะถ่ายเท จากB ไป A



หลังถู

A รับอิเล็กตรอน จะเกิดประจุอิสระลบ

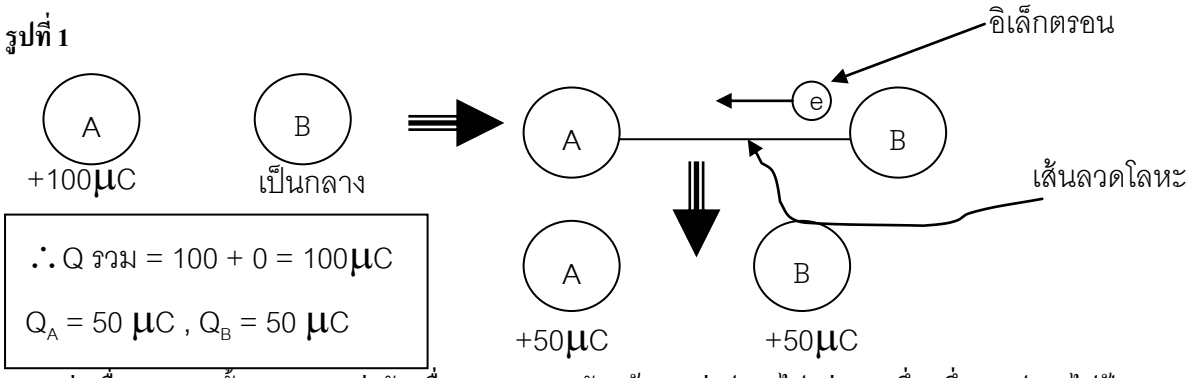
B ให้อิเล็กตรอน จะเกิดประจุอิสระบวก

2. การสัมผัส

เกิดจากการนำวัตถุ 2 อันมาสัมผัส หรือแตะกันโดยตรงแล้วเกิดการถ่ายเทประจุโดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากศักย์ไฟฟ้าลบไปยังศักย์ไฟฟ้าบวก หรือศักย์ไฟฟ้าศูนย์ไปยังศักย์ไฟฟ้าบวก หรือศักย์ไฟฟ้าลบไปยังศักย์ไฟฟ้าศูนย์จะหยุดการถ่ายเทเมื่อวัตถุ 2 อัน มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

ทรงกลมตัวนำเมื่อมีประจุไฟฟ้าอิสระเกิดขึ้น ประจุไฟฟ้าเหล่านี้จะกระจายไปตามผิวนอกของทรงกลมอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเกิดการถ่ายเทประจุแสดงว่ามีการเคลื่อนของอิเล็กตรอน เช่น

รูปที่ 1

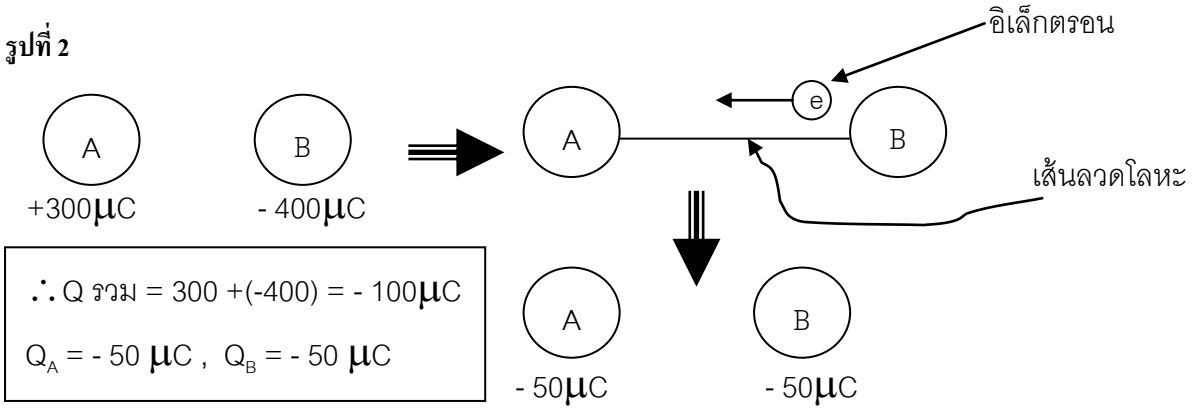


$\therefore$ Q รวม = 100 + 0 = 100μC

Q_A = 50 μC , Q_B = 50 μC

แสดงว่า เมื่อทรงกลมทั้งสองขนาดเท่ากัน เมื่อแยกออกจากกันแล้วจะแบ่งประจุไปอย่างละครึ่งหนึ่งของประจุไฟฟ้ารวม

รูปที่ 2

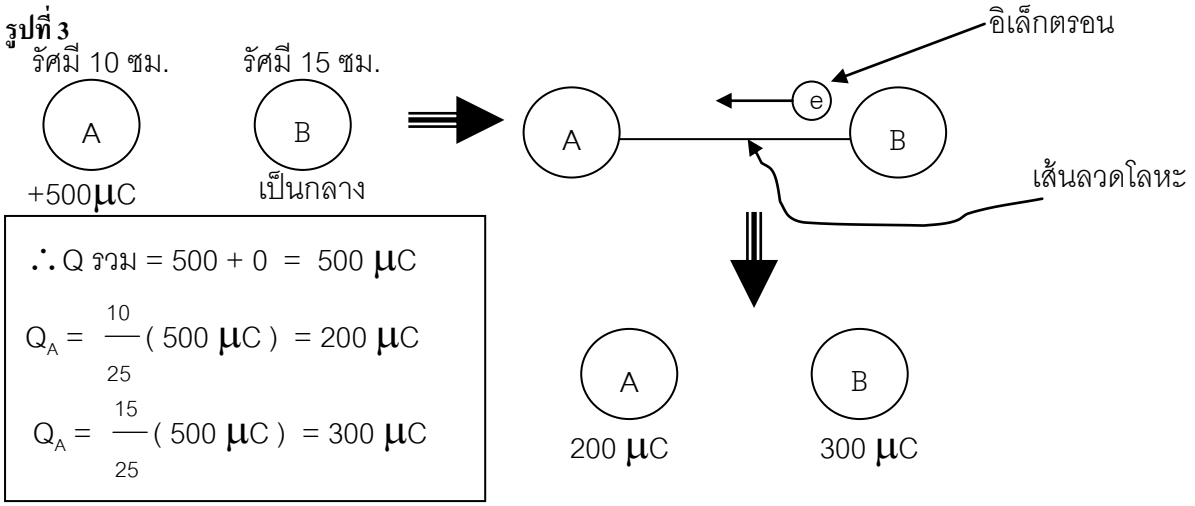


$\therefore$ Q รวม = 300 +(-400) = - 100μC

Q_A = - 50 μC , Q_B = - 50 μC

แสดงว่า เมื่อทรงกลมทั้งสองขนาดเท่ากัน เมื่อแยกออกจากกันแล้วจะแบ่งประจุไปอย่างละครึ่งหนึ่งของประจุไฟฟ้ารวม

รูปที่ 3



$\therefore$ Q รวม = 500 + 0 = 500 μC

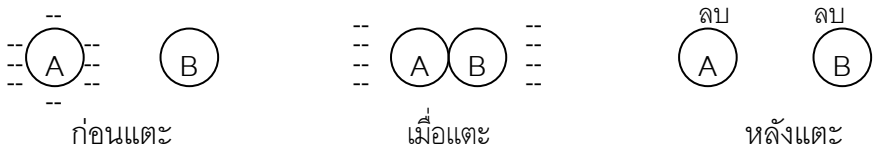
$Q_A = \frac{10}{25}(500\ \mu C) = 200\ \mu C$

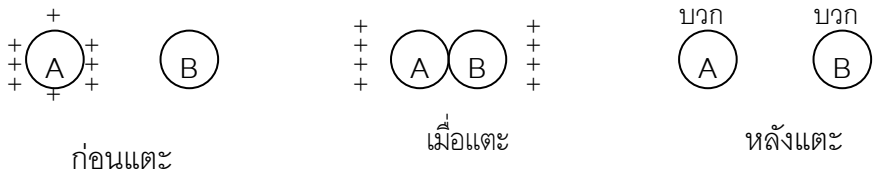
$Q_A = \frac{15}{25}(500\ \mu C) = 300\ \mu C$

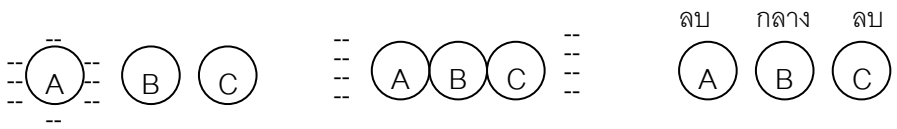
แสดงว่า ทรงกลมที่ขนาดไม่เท่ากันก็จะแบ่งประจุตามสัดส่วนของรัศมีทรงกลมต่อรัศมีรวม

$\therefore$ ทรงกลมขนาดใหญ่จะได้รับประจุไฟฟ้าไปมากกว่าทรงกลมขนาดเล็ก

ตัวอย่างที่ 1 การถ่ายเทประจุเมื่อสัมผัสกัน (แตะกัน)

1. 

2. 

3. 

ตัวอย่างที่ 2 ตัวนำรูปทรงกลม A และ B มีรัศมีของทรงกลมเป็น r และ 2r ตามลำดับ ถ้าตัวนำ A มีประจุ Q และตัวนำ B มีประจุ – 2Q เมื่อเอามาแตะกันและแยกออก จงหาประจุของตัวนำ A

วิธีทำ ทรงกลมที่ขนาดไม่เท่ากันก็จะแบ่งประจุตามสัดส่วนของรัศมีทรงกลมต่อรัศมีรวม

∴ ทรงกลมขนาดใหญ่จะได้รับประจุไฟฟ้าไปมากกว่าทรงกลมขนาดเล็ก (ดังรูปที่ 3)

$$Q = Q + (-2Q) = -Q$$

$$Q_A = \frac{r}{3r}(-Q) = -\frac{Q}{3}$$

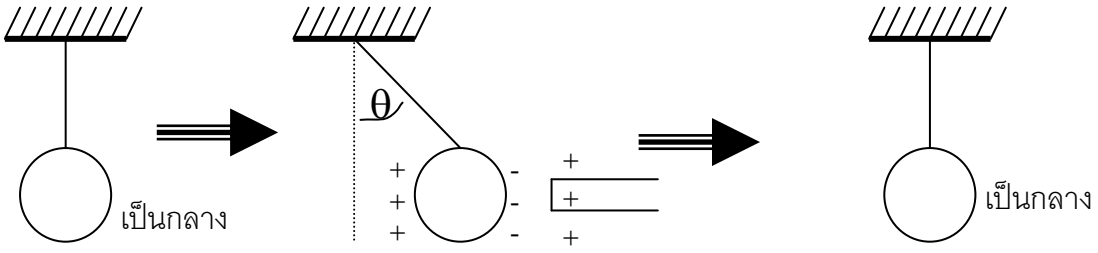
ตอบ $Q_A = -\frac{Q}{3}$

3. การเหนี่ยวนำ (Induction)

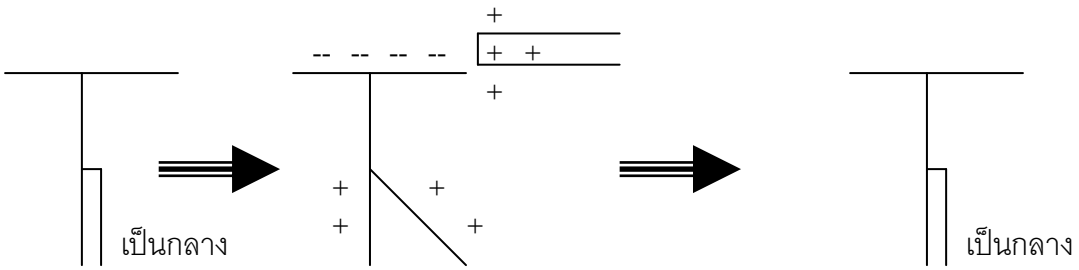
เป็นการนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้ามาใกล้วัตถุที่เป็นกลาง มีผลให้อิเล็กตรอนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง แล้วเกิดประจุชนิดตรงข้ามบนผิวที่อยู่ใกล้ และเกิดประจุชนิดเดียวกันกับประจุบนวัตถุที่นำมาจ่อบนผิวที่อยู่ใกล้ และวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าจะดูดวัตถุที่เป็นกลางเสมอ

เช่น

1. ลูกพิทซึ่งเป็นกลางแขวนด้วยเส้นด้ายอยู่นิ่งๆ แล้วนำวัตถุที่มีประจุ + (บวก) มาวางใกล้ๆ ประจุบนลูกพิทจะถูกเหนี่ยวนำให้แยกออกจากกัน ทำให้เกิดแรงระหว่างประจุที่วัตถุกับลูกพิทกระทำซึ่งกันและกัน แล้วทำให้ลูกพิทเบนออกจากแนวเดิม ถ้านำเอาแท่งประจุ+ออก ลูกพิทก็จะเป็นกลาง

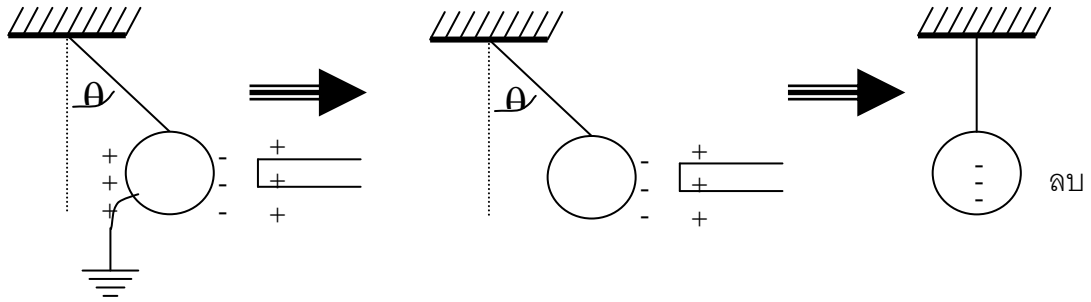


2. อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะซึ่งเดิมเป็นกลาง เมื่อนำวัตถุที่มีประจุ + (บวก) มาวางใกล้ๆ จานรับวัตถุจะเกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูป ถ้านำเอาแท่งประจุ+ออก อิเล็กโทรสโคปแผ่โลหะก็จะเป็นกลาง

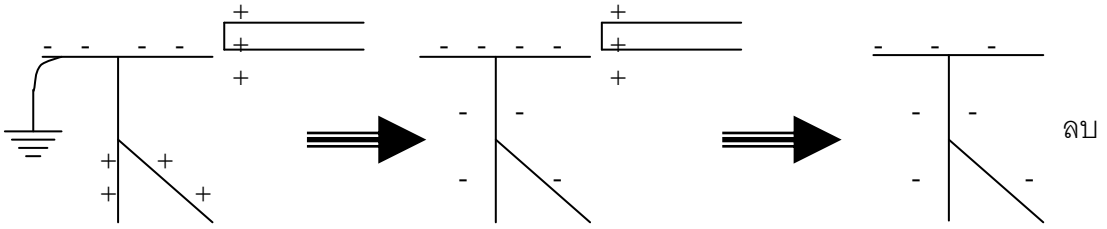


เราสามารถทำให้ลูกพิท และ อิเล็กโทรสโคป มีประจุ สามารถทำได้โดยการต่อลงดินดังรูป

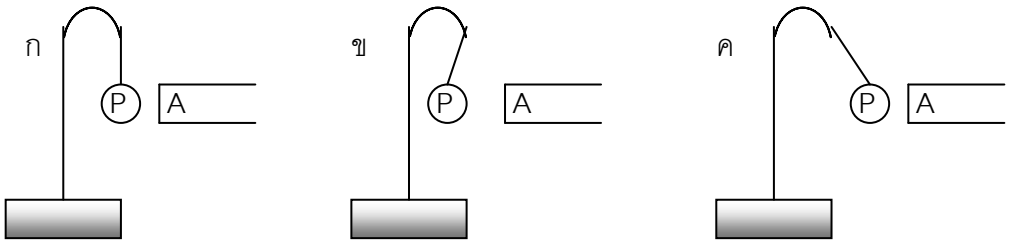
3. ลูกพิทซึ่งเป็นกลางแขวนด้วยเส้นด้ายอยู่นิ่งๆ แล้วนำวัตถุที่มีประจุ + (บวก) มาวางใกล้ๆ ประจุบนลูกพิทจะถูกเหนี่ยวนำให้แยกออกจากกัน ทำให้เกิดแรงระหว่างประจุที่วัตถุกับลูกพิทกระทำซึ่งกันและกัน แล้วทำให้ลูกพิทเบนออกจากแนวเดิม เมื่อสัมผัสกับลูกพิท (ต่อลงดิน) จะมีการถ่ายเทประจุ ถ้านำเอาแท่งประจุบวก+ออก ลูกพิทก็จะมีประจุเป็นลบ (–)



4. อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะซึ่งเดิมเป็นกลาง เมื่อนำวัตถุที่มีประจุ + (บวก) มาวางใกล้ๆ จานรับวัตถุจะเกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูป เมื่อสัมผัสกับแผ่นโลหะ (ต่อลงดิน) จะมีการถ่ายเทประจุ ถ้านำเอาแท่งประจุ+ออก อิเล็กโทรสโคปแผ่โลหะก็จะเป็นกลาง



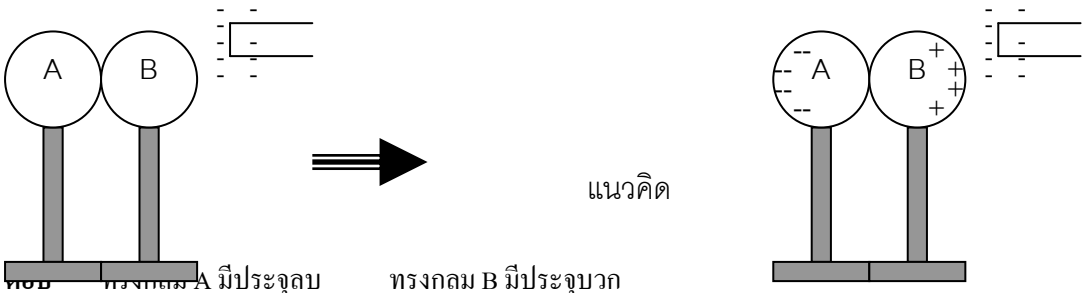
ตัวอย่างที่ 1 เมื่อนำวัตถุ A เข้าใกล้ลูกพิท P ซึ่งเป็นกลาง ตามรูปข้อใดเป็นไปได้



1. ก และ ค 2. ข และ ค 3. ก และ ข 4. ก , ข และ ค

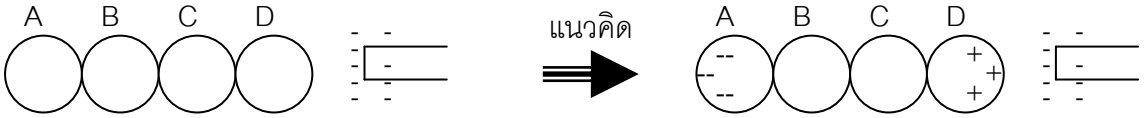
เฉลย ข้อ 1 **แนวคิด** รูป ข เป็นไปไม่ได้ เพราะถ้าวัตถุ A มีประจุ จะต้องดูดลูกพิท P เท่านั้น และ ถ้าวัตถุ A เป็นกลาง จะไม่มีแรงระหว่างประจุเกิดขึ้นกับลูกพิท P

ตัวอย่างที่ 2 ทรงกลมโลหะ A และ B วางสัมผัสกันโดยยึดไว้ด้วยฉนวน เมื่อนำแท่งวัตถุที่มีประจุลบเข้าใกล้ทรงกลม B ดังรูป จะมีประจุไฟฟ้าชนิดใดเกิดขึ้นที่ตัวนำทรงกลมทั้งสอง



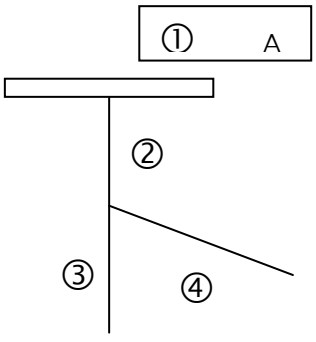
ตอบ ทรงกลม A มีประจุลบ ทรงกลม B มีประจุบวก

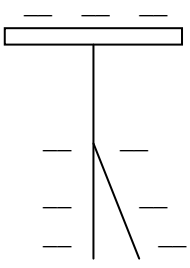
ตัวอย่างที่ 3 ตัวนำทรงกลม A, B, C และ D มีขนาดเท่ากันและเป็นกลางทางไฟฟ้าวางติดกันตามลำดับอยู่บนฉนวนไฟฟ้า นำแท่งประจุลบเข้าใกล้ทรงกลม D ดังรูป แล้วแยกให้ออกจากกัน ประจุบนทรงกลมแต่ละลูกเรียงตามลำดับจะเป็นอย่างไร



ตอบ ลบ กลาง กลาง บวก

ตัวอย่างที่ 4 เมื่อนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าชนิดบวกไปเหนี่ยวนำเพื่อทำให้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะซึ่งเดิมเป็นกลางให้มีประจุไฟฟ้า แล้วจึงนำวัตถุ A ซึ่งมีประจุมาใกล้ ดังรูป ปรากฏว่าแผ่นโลหะของอิเล็ก-โทรสโคปกางออกมากขึ้นอีก ชนิดของประจุที่จุด ① , ②, ③ และ ④ เป็นชนิดใดตามลำดับ





แนวคิด เมื่อนำประจุบวกไปเหนี่ยวนำอิเล็กทรสโคปที่เป็นกลางจะทำให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุเป็นลบกางอยู่

ต่อมาเมื่อนำวัตถุ A ซึ่งมีประจุ ① มาใกล้แล้วทำให้แผ่นโลหะกางมากขึ้น แสดงว่าประจุ ① ต้องเป็นลบ จะผลักประจุลบจากจานโลหะลงไปยังแผ่นโลหะข้างล่าง แผ่นโลหะ③,④จึงมีประจุลบมากขึ้นก็จะกางออกมากขึ้นกว่าเดิม ส่วนบริเวณจานโลหะ②ก็จะมีประจุเป็นบวก

ตอบ ชนิดของประจุที่จุด ① , ②, ③ และ ④ จะเป็น ลบ บวก ลบ ลบ

กฎของคูลอมบ์ (Coulomb 's Law)

" แรงระหว่างประจุจะเป็นสัดส่วนกับผลคูณของประจุ และแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างประจุยกกำลังสอง "

นั่นคือ $F \alpha Q_1Q_2$

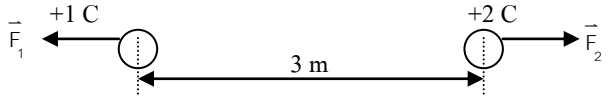
และ $F \alpha \frac{1}{R^2}$

ดังนั้น $F \alpha \frac{Q_1Q_2}{R^2}$

เขียนเป็นสมการ $F = \frac{KQ_1Q_2}{R^2}$ .....****

โดย $K = 9 \times 10^9 Nm^2/C^2$, Q = ประจุไฟฟ้า หน่วย คูลอมบ์ , R = ระยะห่างระหว่างประจุ หน่วย เมตร

ตัวอย่างที่ 1 มีประจุ + 1 คูลอมบ์ และ + 2 คูลอมบ์ วางห่างกัน 3 เมตร จงหาแรงระหว่างประจุ



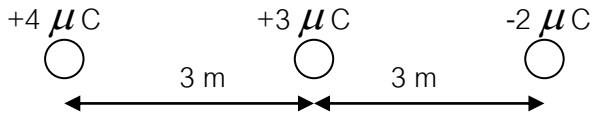
$\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ คือ แรงระหว่างร่วมที่ ประจุ + 1 คูลอมบ์ และ + 2 คูลอมบ์ กระทำซึ่งกันและกัน

วิธีทำ จากกฎคูลอมบ์

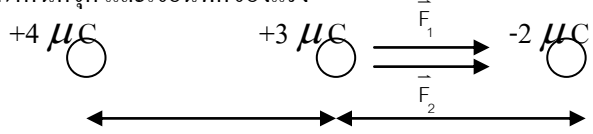
$$F = \frac{KQ_1Q_2}{r^2} = \frac{9x10^9 x1x2}{3^2} = 2 \times 10^9 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงระหว่างประจุมีค่า 2×10^9 N

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> จากรูป จงหาแรงที่กระทำต่อประจุ +3 μC



<u>วิธีทำ</u> 1. กำหนดจุด และเขียนทิศของแรง



F_1 คือ แรงผลัก ที่ประจุ + 4 μC กระทำต่อประจุ +3 μC

F_2 คือ แรงดูด ที่ประจุ -2 μC กระทำต่อประจุ +3 μC

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

$$F_1 = \frac{9x10^9 x4x10^{-6} x3x10^{-6}}{3^2} = 12 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{9x10^9 x2x10^{-6} x3x10^{-6}}{3^2} = 6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

3. หาแรงลัพธ์ (แบบปริมาณเวกเตอร์) ทิศเดียวกัน นำมาบวกกัน

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 12 \times 10^{-3} + 6 \times 10^{-3} = 18 \times 10^{-3} \text{ N}$$

ดังนั้น แรงที่กระทำต่อประจุ +3 μC เท่ากับ 18×10^{-3} N