

บทที่ 3 (ต่อ) ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก

หัวข้อวันนี้

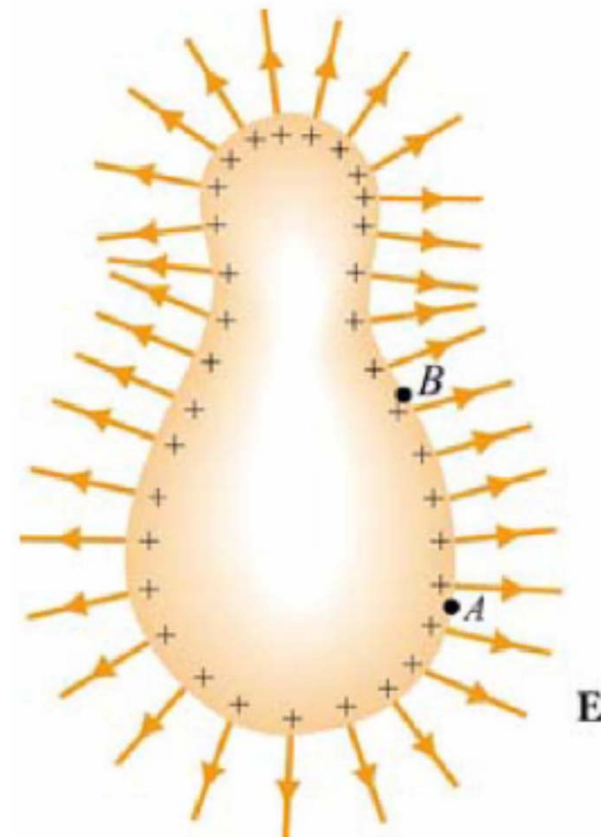
- ทบทวนสมบัติของตัวนำ และ วงจรตัวเก็บประจุ
- ไดโพลไฟฟ้า โพลาริเซชัน และ สมบัติของสารไดอิเล็กทริก
- ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก
- ผลของสารไดอิเล็กทริกต่อตัวเก็บประจุ



สมบัติของตัวนำ ในสมดุลย์สถิตย์

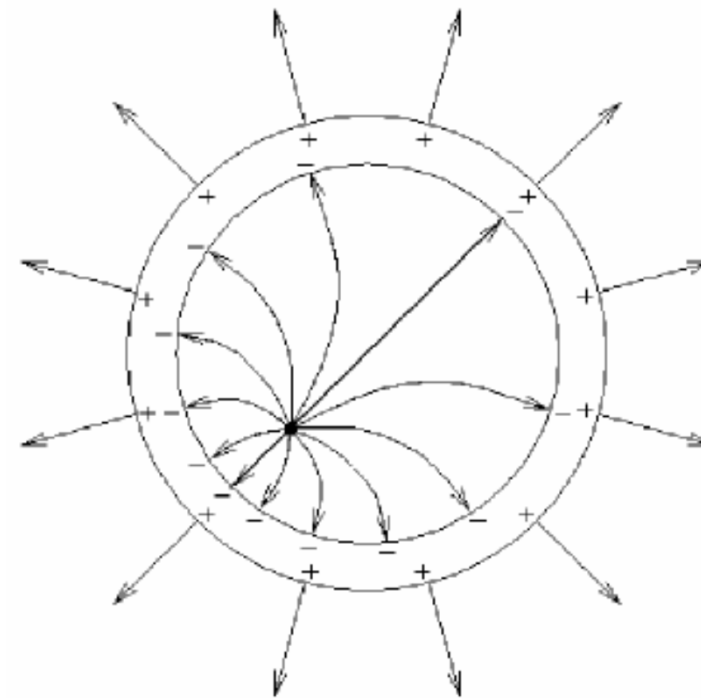
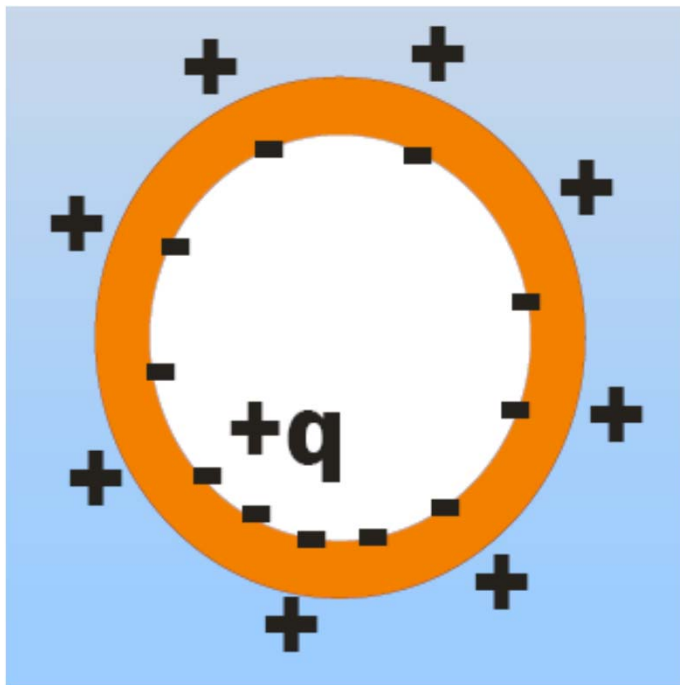
- ตัวนำเป็นวัตถุที่เป็นผิวสมศักดิ์
 1. ภายในตัวนำ $E = 0$ เสมอ
 2. ประจุสุทธิภายในตัวนำเป็น 0
 3. E ตั้งฉากกับผิวตัวนำ
 4. ประจุส่วนเกินจะอยู่เฉพาะที่ผิว

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$



ตัวนำกลวง

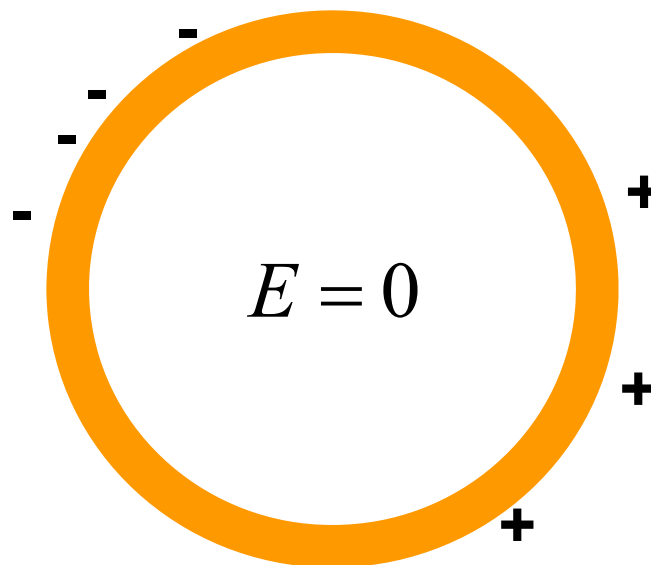
- วางประจุไว้ **ภายใน** ตัวนำกลวง จะเหนี่ยวนำประจุในจำนวนที่เท่ากับที่ผิวด้านในของตัวนำ



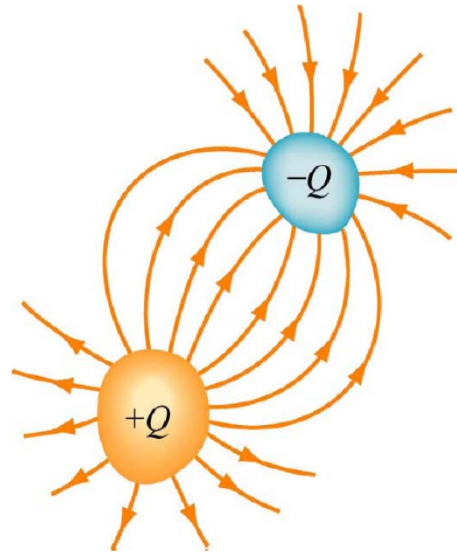
ตัวนำกลวง

- วางประจุไว้ **ภายนอก** ตัวนำกลวง เหนี่ยวนำให้เกิดประจุแยกกัน ที่ผิวด้านนอกของตัวนำ

$+q$



ตัวเก็บประจุ: อุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้า



$$C = \frac{Q}{|\Delta V|}$$

การคำนวณ:

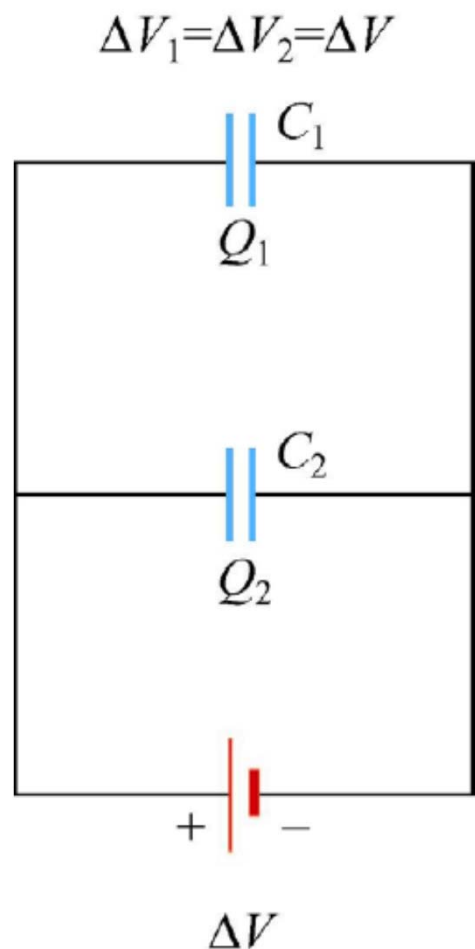
- 1) กำหนดประจุใด ๆ บนตัวนำ $\pm Q$
- 2) คำนวณหา E
- 3) คำนวณ ΔV

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนาน

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

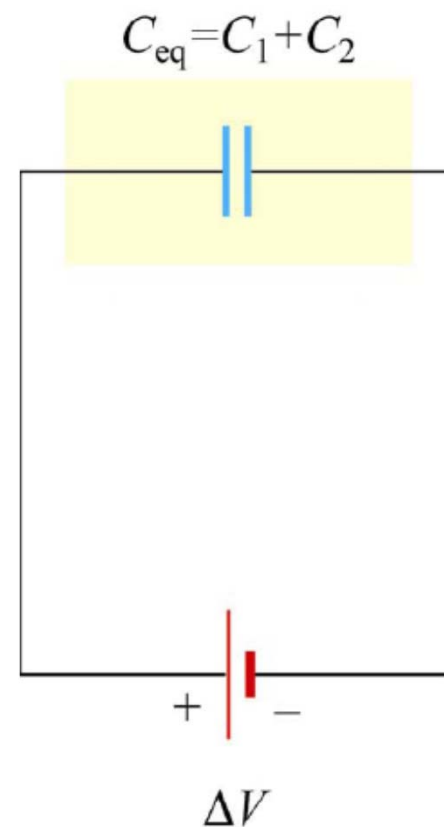


ตัวเก็บประจุต่อขนานกัน

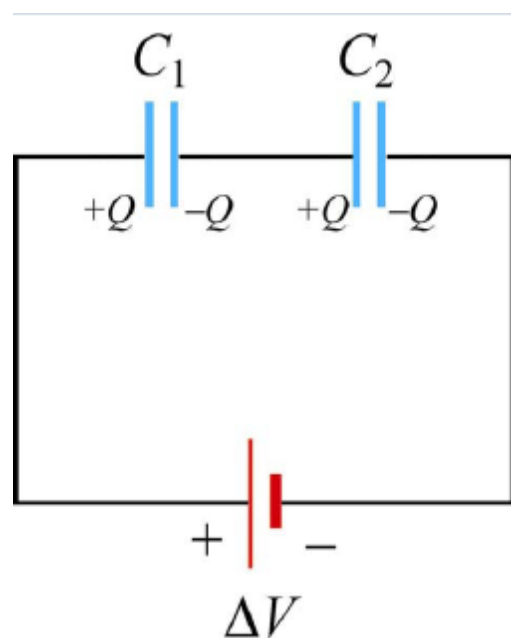


$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V = (C_1 + C_2) \Delta V$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{\Delta V} = C_1 + C_2$$



ตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกัน



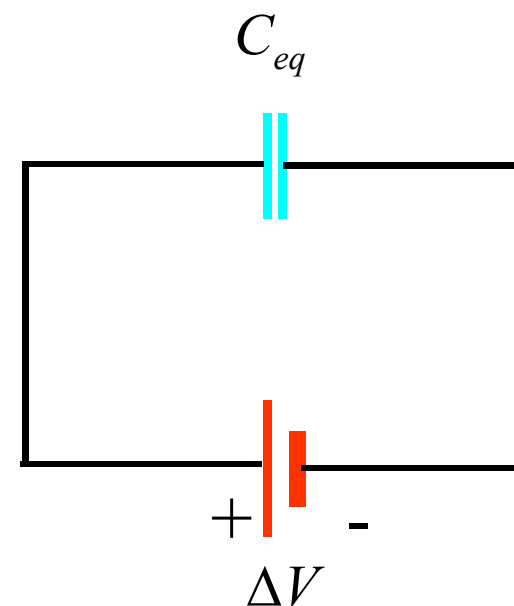
$$\Delta V_1 Q = \frac{Q}{C_1}, \quad \Delta V_2 Q = \frac{Q}{C_2}$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

(ความต่างศักย์ต่ออนุกรมกัน)

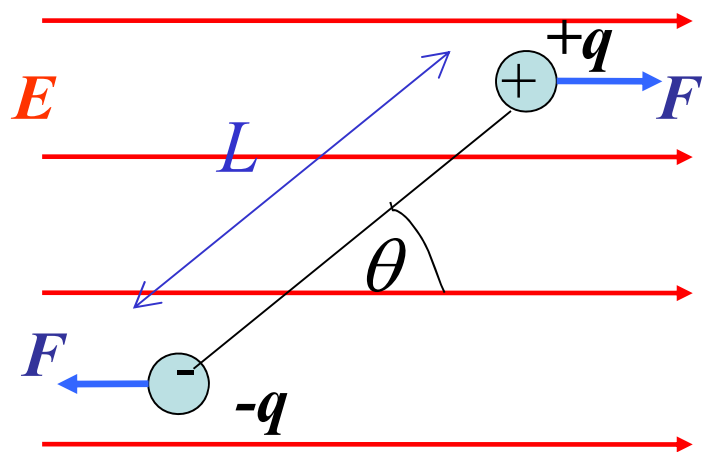
$$\Delta V = \frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



ไดโพลไฟฟ้า

ประจุกคู่บวก ลบ ที่มีขนาดเท่ากัน มีระยะห่างเป็นค่าคงตัว



แรงไฟฟ้าที่กระทำบนประจุ $F=qE$
 ทำให้ประจุทั้งคู่หมุนจนกระทั่ง
 วางตัวในแนวเดียวกับสนามไฟฟ้า
 เกิดโมเมนต์ไฟฟ้า M

$$\vec{M} = \vec{L} \times \vec{F} = q\vec{L} \times \vec{E} = \vec{p} \times \vec{E}$$

L คือ การกระจัดระหว่าง $-q$ ถึง $+q$ และ p คือ ไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้า

$$\vec{p} = q\vec{L}$$



โพลาริเซชันของไดอิเล็กทริก

- อะตอมหรือโมเลกุลของไดอิเล็กทริกจัดเป็นไดโพลไฟฟ้า

โพลาริเซชัน (P)  การให้สนามไฟฟ้าเพื่อให้โมเลกุลจัดเรียงตัว
เป็นระเบียบ (ทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า)

ผล  ของไดโพลโมเมนต์ไฟฟ้าต่อ
หน่วย ปริมาตร

$$\vec{P} = \frac{n\vec{p}}{V}$$



ไดอิเล็กทริก

- สารไดอิเล็กทริก คือ วัสดุซึ่งไม่ใช่ตัวนำ หรือ เป็นฉนวนนั่นเอง
ตัวอย่างเช่น ยาง แก้ว กระจกเคลือบพาราฟิน
- เมื่อนำสารไดอิเล็กทริกวางไว้ระหว่าง ตัวเก็บประจุที่มีประจุไฟฟ้าอยู่แล้ว
สารไดอิเล็กทริกจะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง
ลดลง

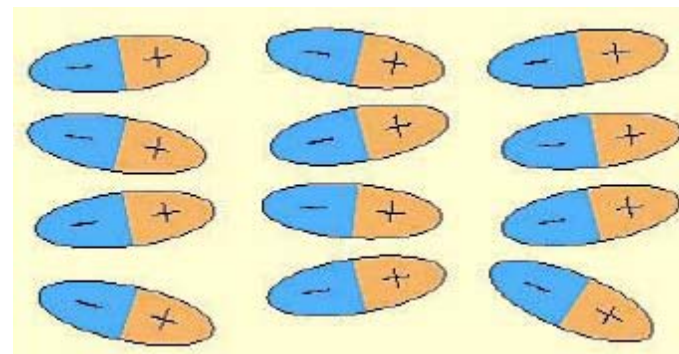
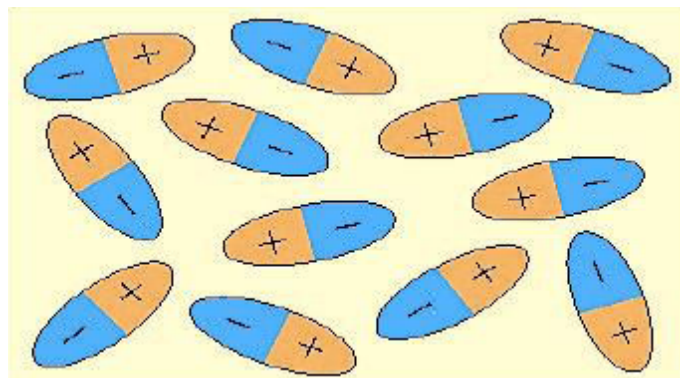
กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร ???



สมบัติของไดอิเล็กทริกในระดับ โมเลกุล

- สารไดอิเล็กทริกชนิดมีขั้ว:

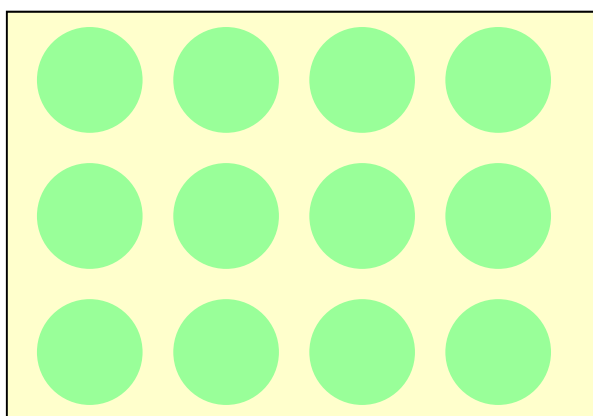
สารไดอิเล็กทริกซึ่งมีไดโพลโมเมนต์ทางไฟฟ้าถาวร
เช่น น้ำ



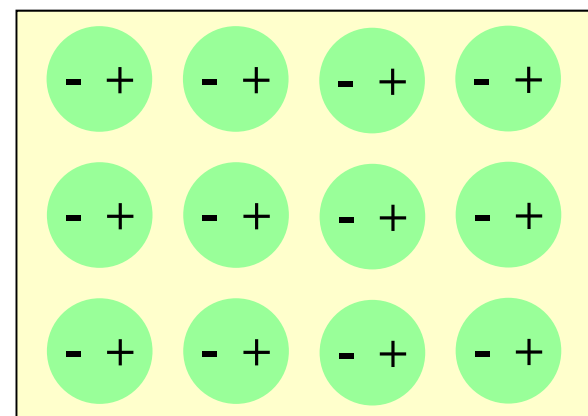
สมบัติของไดอิเล็กทริกในระดับ โมเลกุล

- สารไดอิเล็กทริกชนิดไม่มีขั้ว:

สารไดอิเล็กทริกซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เกิดไดโพลโมเมนต์ทางไฟฟ้า
เช่น ก๊าซมีเทน CH_4



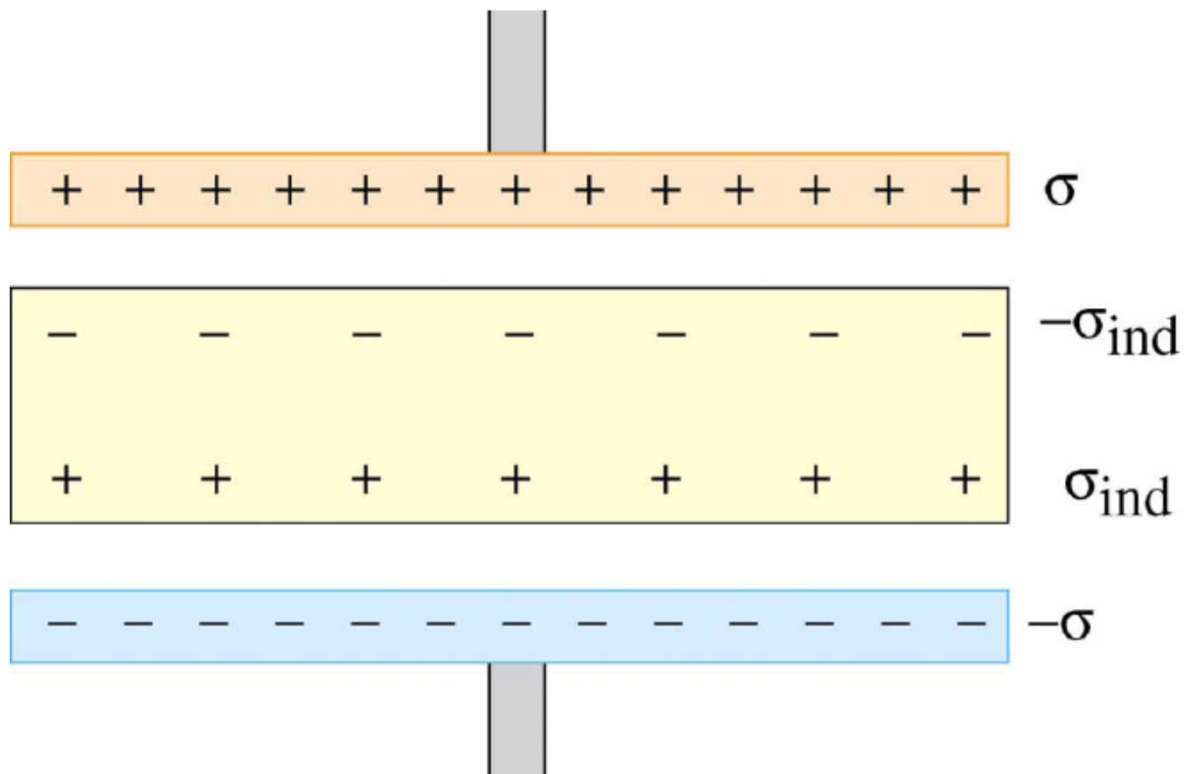
$E=0$



 **E**



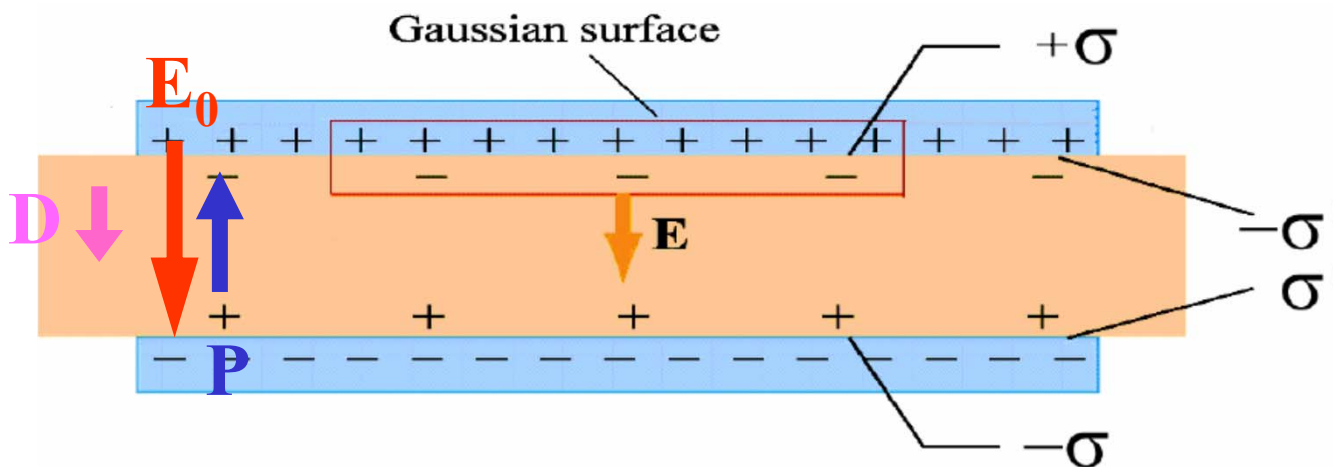
ผลของไดอิเล็กทริกในตัวเก็บประจุ



ความต่างศักย์ไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุจะลดลง
 เนื่องจากผลของการเกิดโพลาไรส์ในไดอิเล็กทริกทำให้ สนามไฟฟ้ารวม ลดลง



กฎของเกาส์สำหรับตัวกลางไดอิเล็กทริก



เมื่อใส่สารไดอิเล็กทริกเข้าไปในตัวเก็บประจุ ตัวกลางไดอิเล็กทริกจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดประจุความหนาแน่น σ' ขึ้นที่ผิว ดังรูป

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{(\sigma - \sigma')A}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{(\sigma - \sigma')A}{\epsilon_0}$$

$\sigma' ???$



ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก κ

ตัวกลางไดอิเล็กทริกที่ใส่ในตัวเก็บประจุทำให้สนาม อ่อนลง ด้วยอัตราส่วน κ

$$E = \frac{\sigma - \sigma'}{\epsilon_0} \equiv \frac{E_0}{\kappa} = \frac{\sigma}{\kappa\epsilon_0} \quad \Rightarrow \quad \sigma' = \sigma \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right)$$

กฎของเกาส์สำหรับสารไดอิเล็กท

ริก:

$$\oiint_S \kappa \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}^{free}}{\epsilon_0}$$

| ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของสารต่างๆ | |
|---------------------------------|-----|
| สุญญากาศ | 1.0 |
| กระดาษ | 3.7 |
| แก้ว | 5.6 |
| น้ำ | 80 |

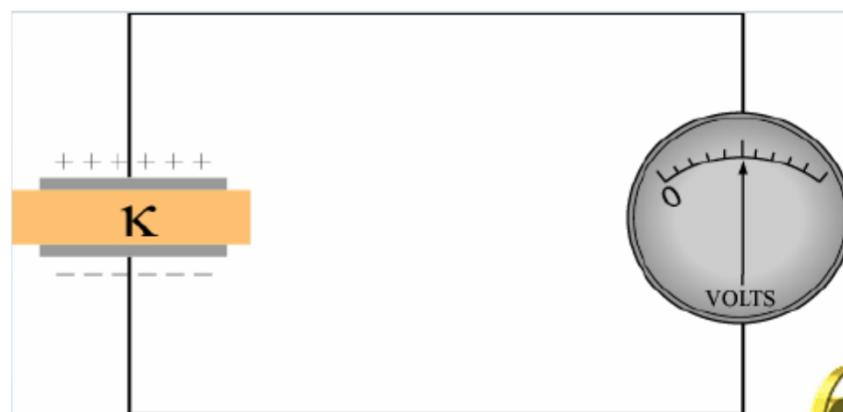


ผลของไดอิเล็กทริกในตัวเก็บประจุ

Q_0 มีขนาดคงตัวหลังจากถอดตัวเก็บประจุออกจาก แบตเตอรี่ภายนอก

เมื่อใส่ไดอิเล็กทริก: $V = V_0/\kappa$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q_0}{V_0/\kappa} = \kappa \frac{Q_0}{V_0} = \kappa C_0$$



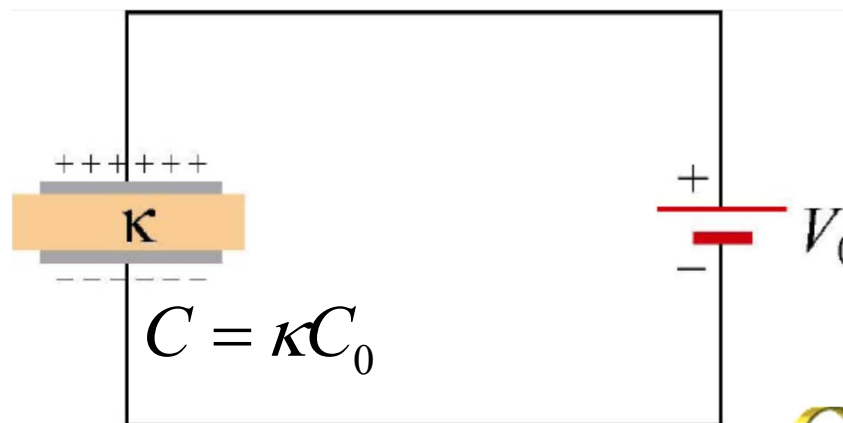
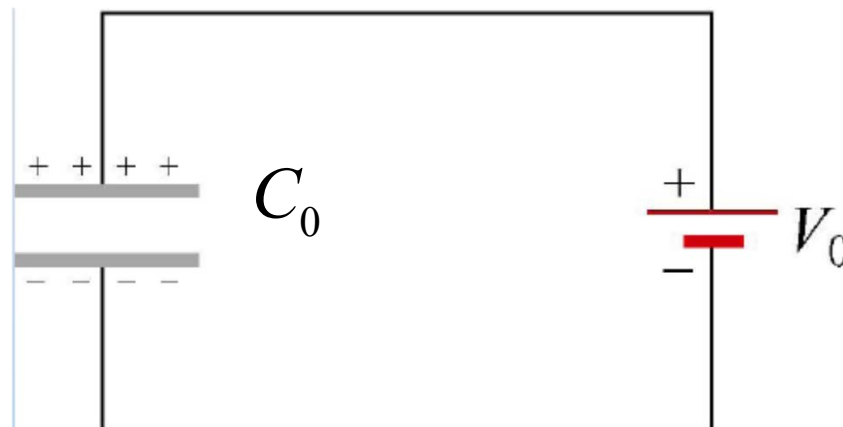
ผลของไดอิเล็กทริกในตัวเก็บประจุ

- V_0 คงตัวตลอดเวลาเนื่องจากต่ออยู่กับแบตเตอรี่

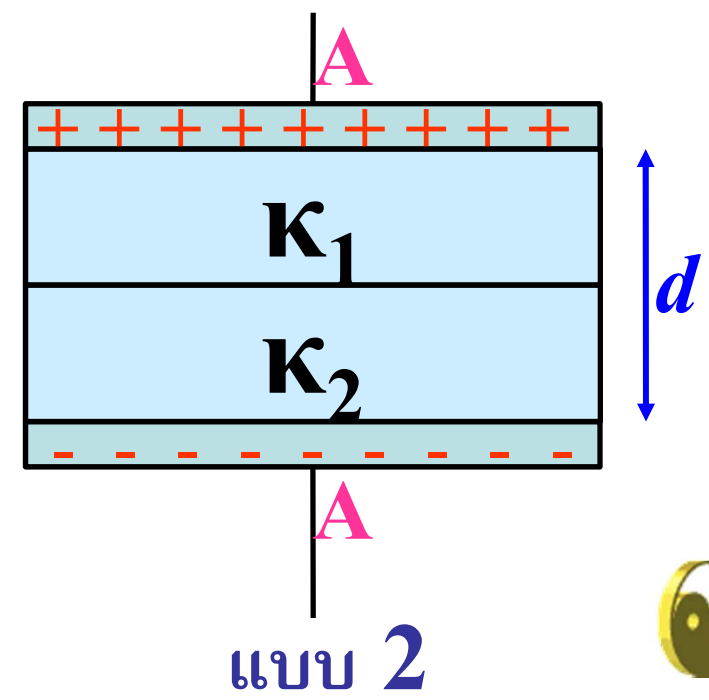
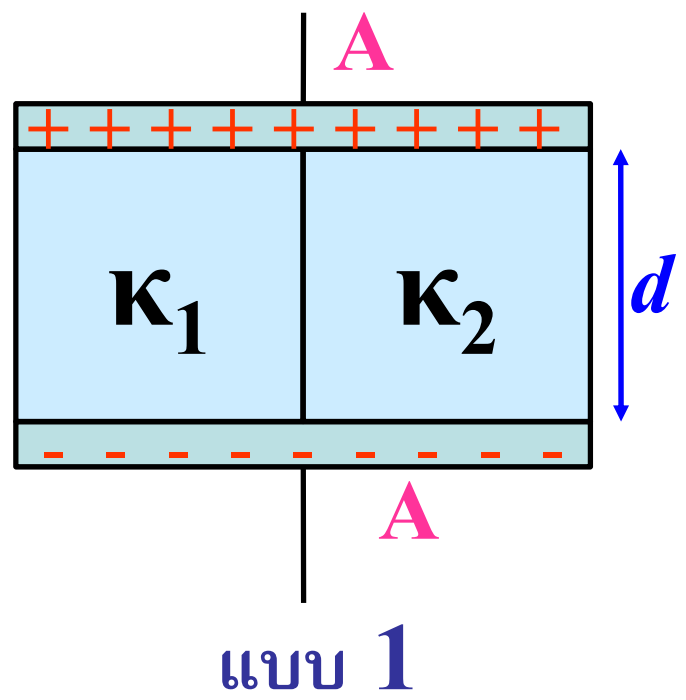
$$C = \frac{Q}{V} = \kappa C_0 = \kappa \frac{Q_0}{V_0}$$

- เมื่อใส่ไดอิเล็กทริกจะได้ว่า

$$Q = \kappa Q_0$$

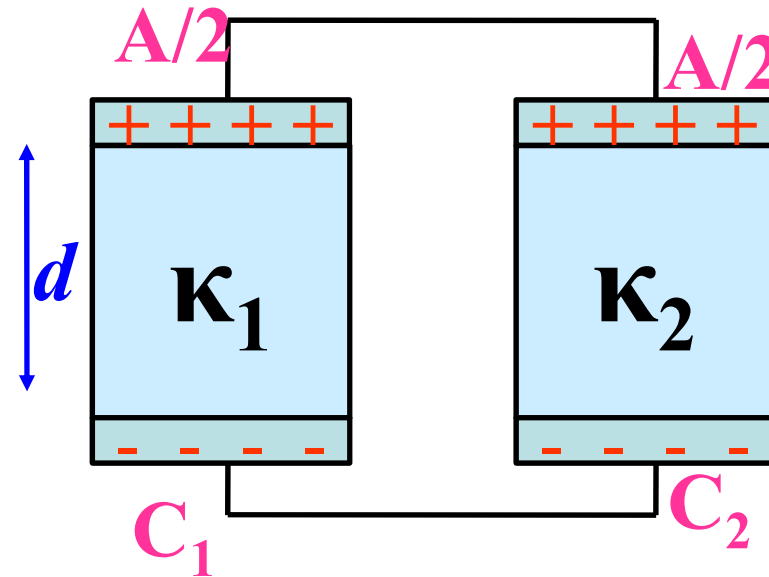


ตัวอย่าง นำแผ่นไดอิเล็กทริก 2 ชนิดมีค่าคงตัว K_1 และ K_2 ตามลำดับ สอดเข้าไประหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนานที่มีพื้นที่ A ห่างกัน d ดังรูป จงหาความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุทั้งสองแบบ



แบบที่ 1

เป็นการต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัวขนานกันมีพื้นที่แผ่นละ $A/2$



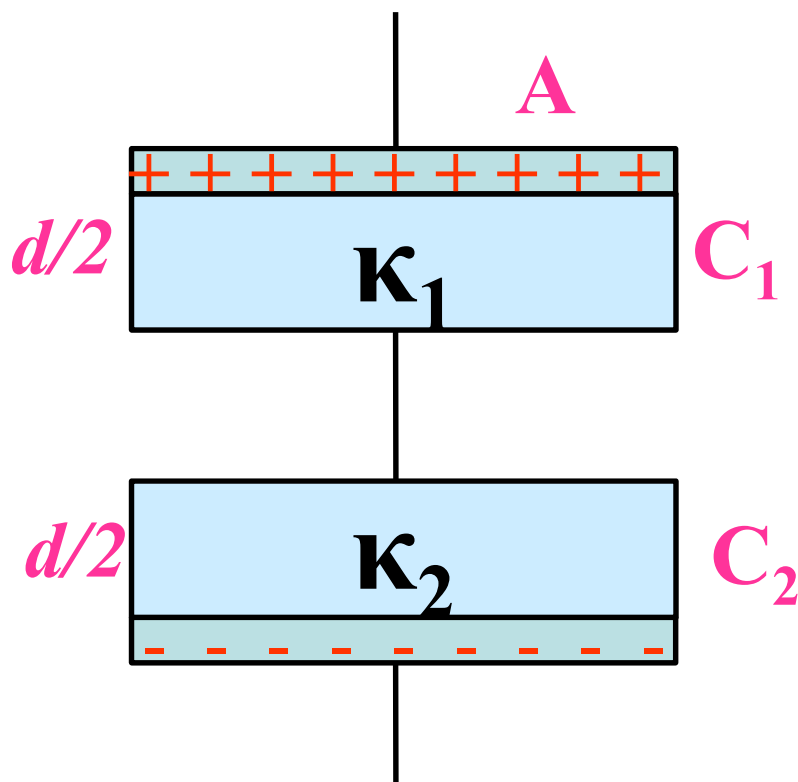
ค่าความจุรวมของการต่อแบบขนาน

$$C = C_1 + C_2 = \kappa_1 \frac{\epsilon_0 (A/2)}{d} + \kappa_2 \frac{\epsilon_0 (A/2)}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{2d} (\kappa_1 + \kappa_2)$$



แบบที่ 2 เป็นการต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัวอนุกรมกันหนาแผ่นละ $d/2$



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{\kappa_1(\epsilon_0 A / (d/2))} + \frac{1}{\kappa_2(\epsilon_0 A / (d/2))}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{d}{2\epsilon_0 A} \left(\frac{1}{\kappa_1} + \frac{1}{\kappa_2} \right)$$

$$\therefore C_{eq} = \frac{2\epsilon_0 A}{d} \left(\frac{\kappa_1 \kappa_2}{\kappa_1 + \kappa_2} \right)$$



ตัวอย่าง แผ่นตัวนำ **2** แผ่น วางประกบแผ่นเชื้อไม้หนา d ไว้ โดยแผ่นเชื้อไม้มีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก K และแผ่นตัวนำมีพื้นที่ A เท่ากัน เมื่อให้ประจุ $+q$ และ $-q$ แก่แผ่นทั้งสองตามลำดับ จงหา

1. พลังงานสะสมก่อนและหลังใส่แผ่นไม้

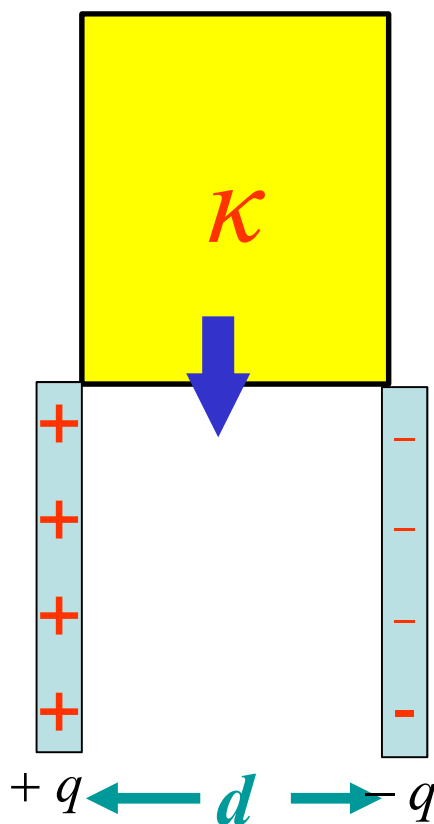
ก่อนใส่ไดอิเล็กทริก

$$W_0 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{\epsilon_0 (A/d)}$$

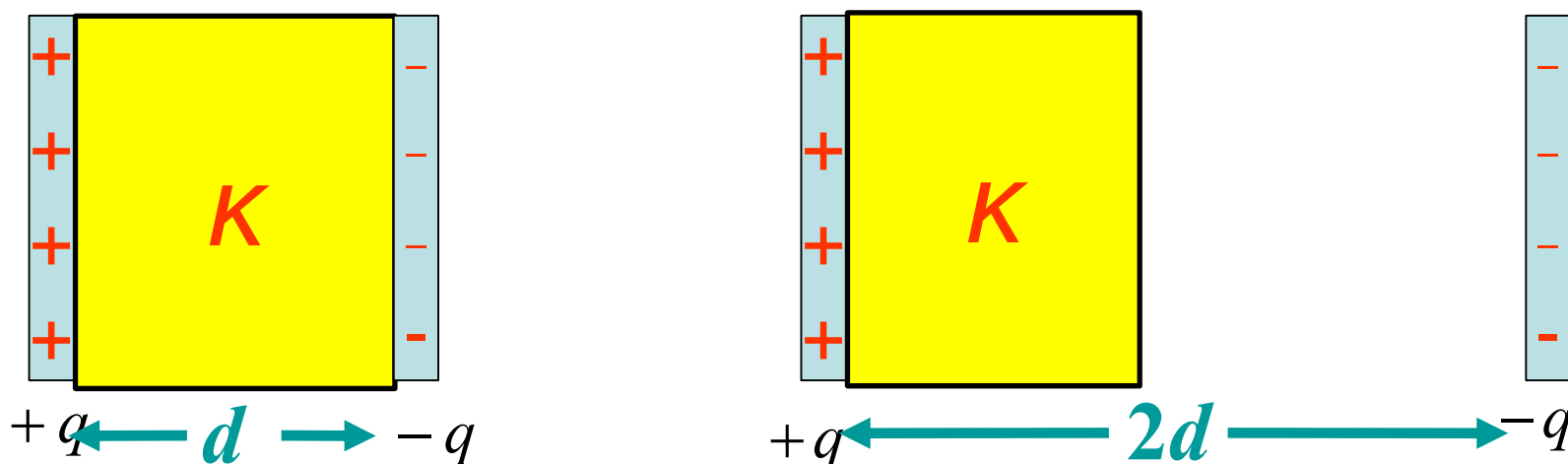
เมื่อใส่ไดอิเล็กทริก

$$W = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{\kappa \epsilon_0 (A/d)}$$

$$W = \frac{q^2}{\kappa \epsilon_0 A} d$$



2. พลังงานสะสมเพิ่มหรือลดลงเมื่อเลื่อนแผ่นตัวนำออกจากเดิมเป็นสองเท่าของความหนาแผ่นไม้



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{(\epsilon_0 A/d)} + \frac{1}{\kappa(\epsilon_0 A/d)} = \frac{d}{\epsilon_0 A} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \right)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A \kappa}{d(1 + \kappa)}$$



จะได้พลังงานของตัวเก็บประจุเมื่อเลื่อนไม้ออกเป็นระยะ d

$$C = \frac{\epsilon_0 A \kappa}{d(1 + \kappa)}$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{q^2 d (1 + \kappa)}{\kappa \epsilon_0 A}$$

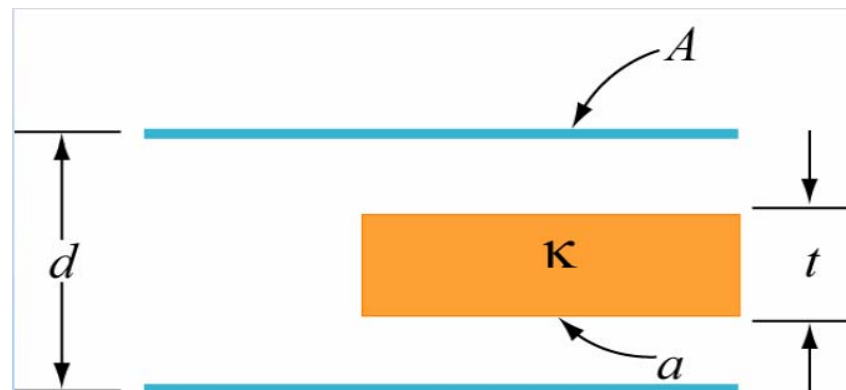
$$\begin{aligned} \Delta W &= W - W_0 \\ &= \frac{1}{2} \frac{q^2 d (1 + \kappa)}{\kappa \epsilon_0 A} - \frac{1}{2} \frac{q^2 d}{\kappa \epsilon_0 A} \\ &= \frac{1}{2} \frac{q^2 d}{\epsilon_0 A} \end{aligned}$$

นั่นคือพลังงานของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น

$$\Delta W = \frac{1}{2} \frac{q^2 d}{\epsilon_0 A}$$



การใส่สารไดอิเล็กทริกบางส่วน



- ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุนี้จะมีค่าเท่าใด???

