

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด คือ ผลต่างของพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่จุดทั้งสองต่อหนึ่งหน่วยประจุ ดังสมการ

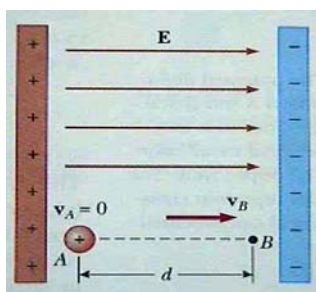
$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \quad (4-1)$$

จากนิยาม เมื่อมีการย้ายประจุ q_0 จากตำแหน่งใด ๆ มายังอีกตำแหน่งหนึ่ง งานที่ทำจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt) ใช้ตัวย่อเป็น V (1 Volt = 1 Joule / Coulomb)

- ในกรณีสนามไฟฟ้าคงที่ สามารถพิสูจน์ความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ ได้ดังนี้

$$\Delta U = q_0 E d$$

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = \frac{q_0 E d}{q_0} = E d \quad (4-2)$$



ภาพที่ 4-1 สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุคู่ขนานมีค่าคงที่

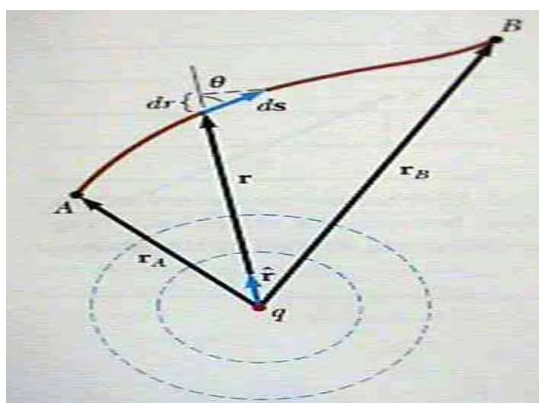
- ในกรณีทั่วไป ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับความต่างศักย์ อยู่ในรูป

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad (4-3)$$

คำถามที่ 1: แบตเตอรี่มีความต่างศักย์ 12 V ต่อเข้ากับแผ่นโลหะคู่ขนานที่มีระยะระหว่างแผ่น 4 cm จงคำนวณสนามไฟฟ้า

4.1 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

พิสูจน์ หาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากจุดประจุ



ภาพที่ 4-2 การเคลื่อนประจุจากจุด A ไป B ทำให้เกิดงาน

ในกรณีจุดประจุ

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{E} \cdot d\vec{s} = k \frac{q}{r^2} \hat{r} \cdot d\vec{s} \quad (4-4)$$

$$\hat{r} \cdot d\vec{s} = ds \cos \theta = dr$$

คำนวณความต่างศักย์ได้ดังนี้

$$V_B - V_A = -\int_{r_A}^{r_B} kq \frac{dr}{r^2} = \frac{kq}{r} \Big|_{r_A}^{r_B} = kq \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right] \quad (4-5)$$

สำหรับศักย์ไฟฟ้า ณ จุดหนึ่ง ๆ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ณ จุดนั้น ๆ กับตำแหน่งอนันต์ (Infinity) ซึ่งมีค่า

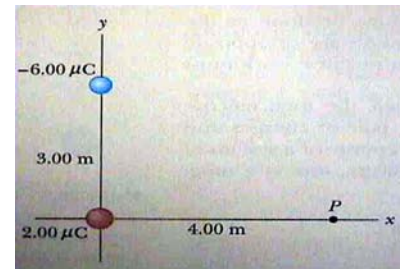
$$V_B = \frac{kq}{r} \Big|_{\infty}^{r_B} = kq \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{\infty} \right] = \frac{kq}{r_B} \quad (4-6)$$

ตัวอย่างที่ 1 : (Serway25.3) ให้ประจุที่มีขนาด -6.00 ไมโครคูลอมบ์ และห่างจากประจุที่มีขนาด 2.00 ไมโครคูลอมบ์ 3.00 เมตร จุด P ห่างจากประจุที่หนึ่ง 4.00 เมตร (a) จงคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P (b) ต้องใช้พลังงานเท่าไรจึงจะนำประจุ 2.00 ไมโครคูลอมบ์ไปไว้ที่จุด P

วิธีทำ : รวมศักย์ไฟฟ้าที่จุด P เนื่องจากประจุทั้งสองเข้าด้วยกัน แบบสเกลาร์

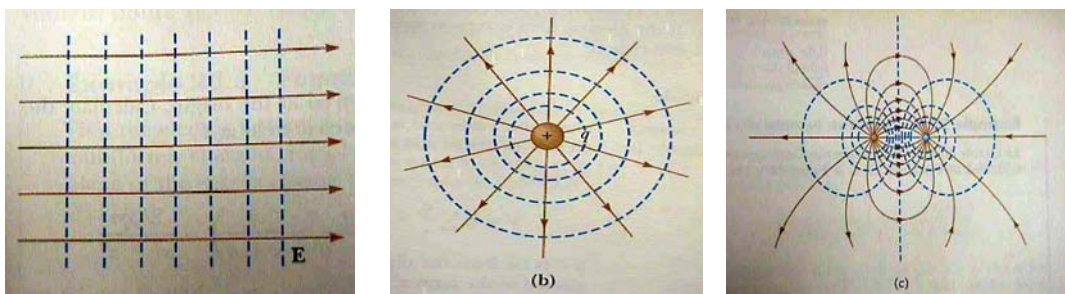
$$V_P = k_e \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 8.99 \times 10^9 \left(\frac{2 \times 10^{-6}}{4} + \frac{-6 \times 10^{-6}}{5} \right) = -6.29 \times 10^3 \text{ V}$$

$$\Delta U = q_3 V_P - 0 = (2 \times 10^{-6}) (-6.29 \times 10^3) = -12.6 \times 10^{-3} \text{ J}$$



ภาพที่ 4-3 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1

เส้นสมศักย์ (Equipotential Lines) คือเส้นที่ลากผ่านจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่าง 3 กรณีของเส้นสมศักย์ (เส้นประ)

4.2 การคำนวณสนามไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากศักย์ไฟฟ้าตามความสัมพันธ์

$$\vec{E} = -\nabla V$$

$$\nabla V = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) V \quad (4-7)$$

ตัวอย่างที่ 2 : (Serway25.4) จงคำนวณศักย์ไฟฟ้าของไดโพล ดังภาพ และจงหา V และ E ในแนวแกน x ที่จุดห่างจากไดโพลมาก ๆ

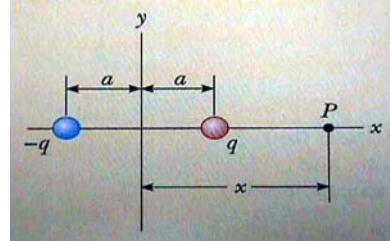
วิธีทำ : รวมศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบวกเข้ากับรวมศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบเข้าด้วยกัน แบบสเกลาร์

$$V = k_e \sum \frac{q_i}{r_i} = k_e \left(\frac{q}{x-a} - \frac{q}{x+a} \right) = \frac{2k_e qa}{x^2 - a^2}$$

ที่ระยะห่างจากไดโพลมาก ๆ ไปในแนวแกน x ($x \gg a$)

$$V = \frac{2k_e qa}{x^2}$$

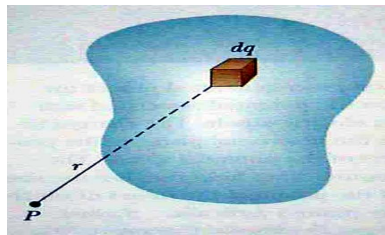
$$E = -\frac{dV}{dx} = \frac{4k_e qa}{x^3}$$



ภาพที่ 4-5 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 2

4.3 ศักย์ไฟฟ้าจากประจุที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

กรณี que ประจุกระจายตัวอยู่ในวัตถุ ให้แบ่งประจุเหล่านั้นออกเป็นส่วนย่อย ๆ dq ที่ทำให้เกิดศักย์ส่วนย่อย dV เมื่ออินทิเกรตรวม ก็จะได้ศักย์ไฟฟ้าที่มาจากประจุทั้งหมดของวัตถุ



ภาพที่ 4-6 การแบ่งวัตถุออกเป็นส่วนย่อยและพิจารณาศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

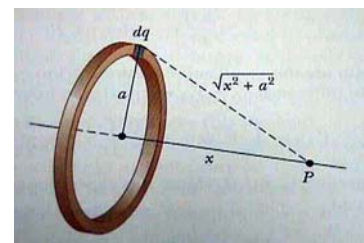
$$dV = k \frac{dq}{r} \tag{4-8}$$

$$V = k \int \frac{dq}{r} \tag{4-9}$$

ตัวอย่างที่ 3 : (Serway25.5) ศักย์ไฟฟ้าจากวงแหวนประจุ วงแหวนมีรัศมี a มีประจุอยู่ทั้งสิ้น Q จงคำนวณศักย์ไฟฟ้า ณ จุด P

วิธีทำ : แบ่งแหวนเป็นส่วนย่อยที่มีประจุ dq ส่วนย่อยนี้ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า dV

$$\begin{aligned} V &= k_e \int \frac{dq}{r} = k_e \int \frac{dq}{\sqrt{x^2 + a^2}} \\ &= \frac{k_e}{\sqrt{x^2 + a^2}} \int dq = \frac{k_e Q}{\sqrt{x^2 + a^2}} \end{aligned}$$

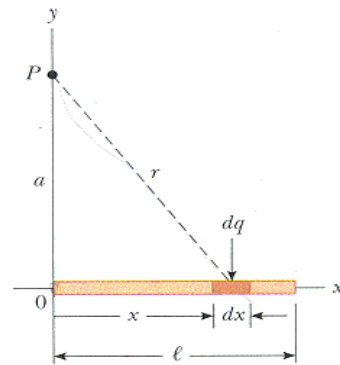


ภาพที่ 4-7 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 4 : (Serway25.7) ศักย์ไฟฟ้าจากแท่งประจุ จงคำนวณศักย์ไฟฟ้า ณ จุด P เนื่องจากแท่งยาว l ที่มีประจุ Q ดังภาพ

วิธีทำ : แบ่งแท่งเป็นส่วนย่อยที่มีประจุ dq ส่วนย่อยนี้ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า dV

$$\begin{aligned} dV &= k_e \frac{dq}{r} = k_e \frac{\lambda dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} \\ V &= k_e \lambda \int_0^l \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = k_e \frac{Q}{l} \int_0^l \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} \\ &= k_e \frac{Q}{l} \left[\ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) \right]_0^l \\ &= \frac{kQ}{l} \ln \left(\frac{l + \sqrt{l^2 + a^2}}{a} \right) \end{aligned}$$



ภาพที่ 4-8 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 5 : (Serway25.8) ศักย์ไฟฟ้าจากทรงกลมฉนวน จงคำนวณศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากทรงกลมฉนวนที่มีประจุกระจายสม่ำเสมอ ที่รัศมี r จากจุดศูนย์กลาง ในกรณี ตำแหน่ง B (นั่นคือ $r > R$) และ ตำแหน่ง D (นั่นคือ $r < R$)

วิธีทำ :

- กรณีภายนอกทรงกลม ($r > R$) ใช้กฎของเกาส์ จะได้

$$E_r = k \frac{Q}{r^2}$$

โดยสมมติทิศพุ่งออกจากศูนย์กลาง เมื่อ Q เป็นบวก ทำให้

$$\vec{E} \cdot d\vec{s} = E_r dr$$

ดังนั้น

$$V_B = -\int_{\infty}^r E_r dr = -kQ \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = \frac{kQ}{r}$$

- กรณีภายในทรงกลม ($r < R$) ใช้กฎของเกาส์ จะได้

$$E_r = \frac{kQ}{R^3} r$$

และ

$$V_D - V_C = -\int_R^r E_r dr$$

แทนค่า และทำการอินทิเกรต

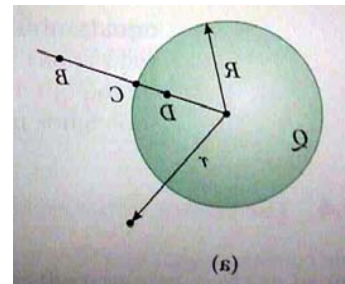
$$V_D - V_C = -\int_R^r E_r dr = -\frac{kQ}{R^3} \int_R^r r dr = -\frac{kQ}{2R^3} (R^2 - r^2)$$

โดยที่

$$V_C = \frac{kQ}{R}$$

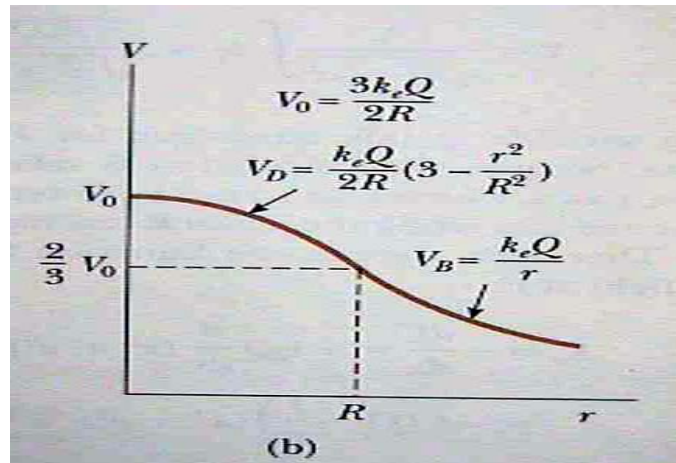
จัดรูปแบบสมการจะได้

$$V_D = \frac{kQ}{2R} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$



ภาพที่ 4-9 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 5

สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะทางได้ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ศักย์ไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของระยะทางจากศูนย์กลางทรงกลมตันที่มีประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอ

4.4 ตัวนำที่มีประจุในสภาพสมดุล

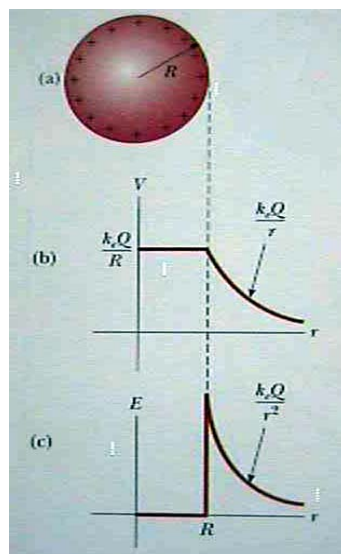
เมื่อโลหะตัวนำอยู่ในสนามไฟฟ้าที่ไม่เปลี่ยนแปลง พบว่า

1. สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ทุกที่ภายในตัวนำ
2. สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งภายนอกผิวตัวนำมีขนาด σ/ϵ_0 มีทิศตั้งฉากกับผิว ณ จุดนั้น

การที่สนามไฟฟ้าภายในโลหะเป็นศูนย์ สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของเกาส์ว่าประจุของตัวนำจะวางตัวบนผิวทั้งหมด ประจุลัพท์ภายในพื้นผิวเกาส์เป็นศูนย์ จึงไม่มีสนามไฟฟ้าภายในตัวนำ ดังนั้นถ้าต้องการปกป้องบริเวณจากสนามไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการสร้างครอบที่มีผิวเป็นตัวนำ ซึ่งสามารถกันสนามไฟฟ้าจากภายนอกได้

ผลสืบเนื่องคือ ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของตัวนำมีค่าเท่ากัน เนื่องจาก สนามไฟฟ้าภายในตัวนำมีค่าเป็นศูนย์ ส่งผลให้ไม่ว่าเส้นทางการเลื่อนประจุจะเป็นอย่างไร งานที่ทำก็เป็นศูนย์ ดังนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดใด ๆ ก็มีค่าเป็นศูนย์ด้วย นั่นคือ ทุกจุดในตัวนำจะมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

จากภาพที่ 4-11 แสดงศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าซึ่งคำนวณไว้ก่อนหน้านี้ พบว่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากันภายในและที่ผิวของทรงกลม



ภาพที่ 4-11 ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของระยะทางจากศูนย์กลางทรงกลมโลหะ

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

