

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด คือ ผลต่างของพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่จุดทั้งสองต่อหนึ่งหน่วยประจุ ดังสมการ

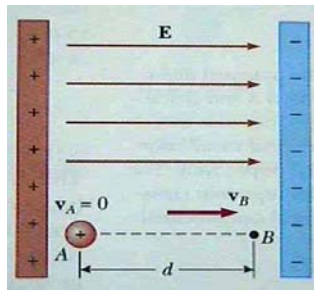
$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \quad (4-1)$$

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

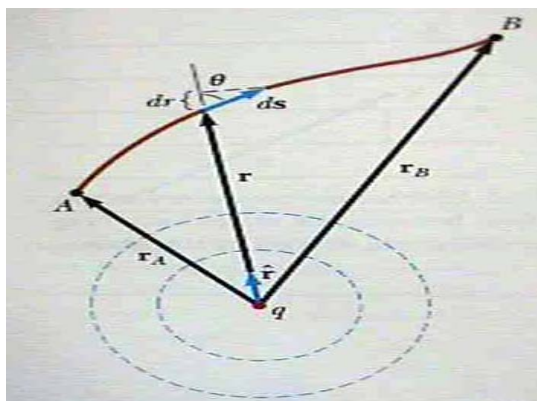
- ในกรณีทั่วไป ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับความต่างศักย์ อยู่ในรูป

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

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

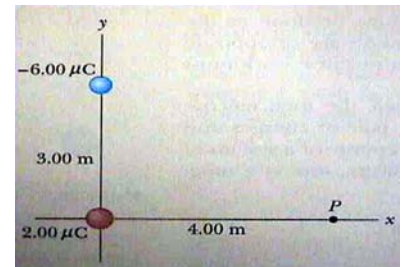
$$V_B = \frac{kq}{r} \Big|_{\infty}^{r_B} = kq \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{\infty} \right] = \frac{kq}{r_B} \quad (4-6)$$

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

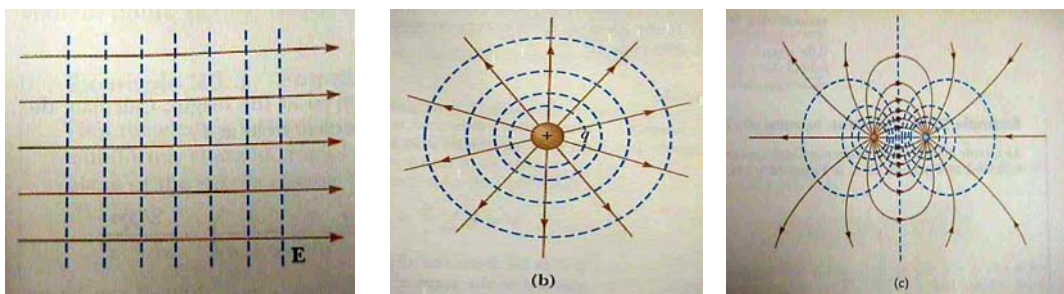
$$V_P = k_e \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 8.99 \times 10^9 \left(\frac{2 \times 10^{-6}}{4} + \frac{-6 \times 10^{-6}}{5} \right) = -6.29 \times 10^3 \text{ V}$$

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



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

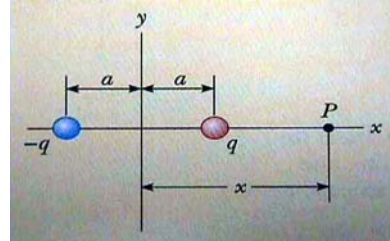
วิธีทำ : รวมศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบวกเข้ากับรวมศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบเข้าด้วยกัน แบบสเกลาร์

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

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

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

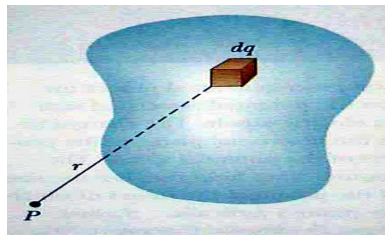
$$E = -\frac{dV}{dx} = \frac{4k_e qa}{x^3}$$



ภาพที่ 4-5 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 2

4.3 ศักย์ไฟฟ้าจากประจุที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

กรณีที่ประจุกระจายตัวอยู่ในวัตถุ ให้แบ่งประจุเหล่านั้นออกเป็นส่วนย่อย ๆ dq ที่ทำให้เกิดศักย์ส่วนย่อย dV เมื่ออินทิเกรตรวม ก็จะได้ศักย์ไฟฟ้าที่มาจากประจุทั้งหมดของวัตถุ



ภาพที่ 4-6 การแบ่งวัตถุออกเป็นส่วนย่อยและพิจารณาศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

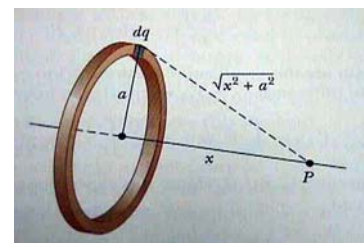
$$dV = k \frac{dq}{r} \quad (4-8)$$

$$V = k \int \frac{dq}{r} \quad (4-9)$$

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

วิธีทำ : แบ่งแหวนเป็นส่วนย่อยที่มีประจุ dq ส่วนย่อยนี้ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า dV

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

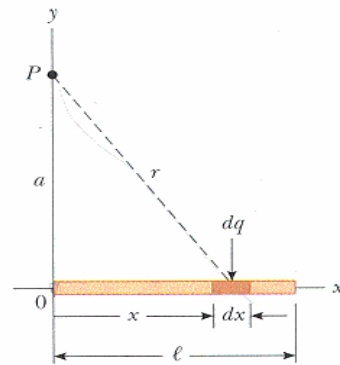


ภาพที่ 4-7 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 3

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

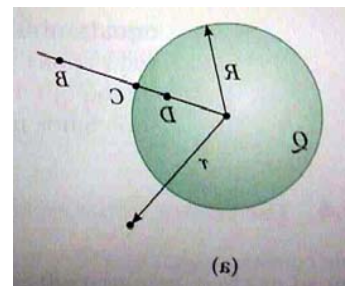
$$V_D - V_C = -\int_R^r E_r dr = -\frac{kQ}{R^3} \int_R^r r dr = -\frac{kQ}{2R^3} (R^2 - r^2)$$

โดยที่

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

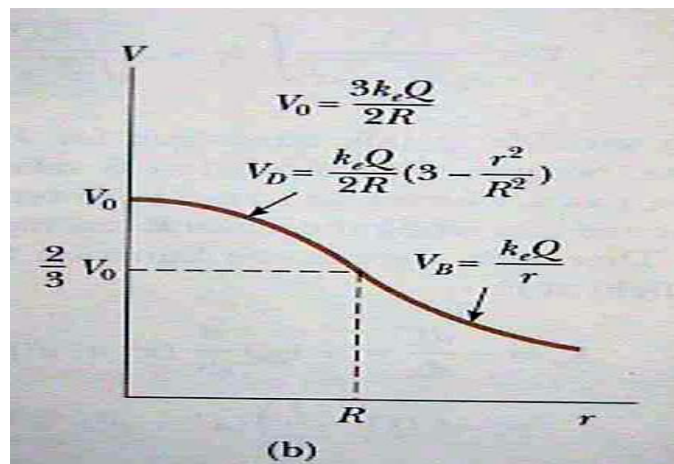
จัดรูปแบบสมการจะได้

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



ภาพที่ 4-9 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 5

สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะทางได้ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ศักย์ไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของระยะทางจากศูนย์กลางทรงกลมตันที่มีประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอ

4.4 ตัวนำที่มีประจุในสภาพสมดุล

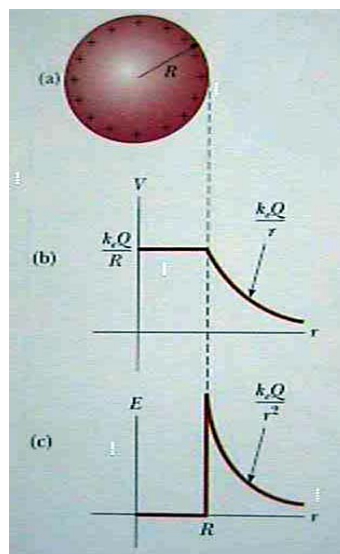
เมื่อโลหะตัวนำอยู่ในสนามไฟฟ้าที่ไม่เปลี่ยนแปลง พบว่า

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

การที่สนามไฟฟ้าภายในโลหะเป็นศูนย์ สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของเกาส์ว่าประจุของตัวนำจะวางตัวบนผิวทั้งหมด ประจุลัพธ์ภายในพื้นผิวเกาส์เป็นศูนย์ 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 | ตารางธาตุไทย1) 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 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต  | |
|---|---|
| 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 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต  | |
| 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 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต  | |
| 1. จลศาสตร์ (kinematic) | 2. จลพลศาสตร์ (kinetics) |
| 3. งานและโมเมนตัม | 4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง |
| 5. ของไหลกับความร้อน | 6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า |
| 7. แม่เหล็กไฟฟ้า | 8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง |
| 9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์ | |

