

รูปที่ 1 นิยามงานทางไฟฟ้า

เอกสารประกอบการบรรยาย: **วิชา 2304102 ฟิสิกส์ทั่วไป 2**

ครั้งที่ 3 ภาคการศึกษาปลาย พ.ศ. 2551

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2551

สารบัญ

1 ศักย์ไฟฟ้า	1
2 แบบฝึกหัด	12

1 ศักย์ไฟฟ้า

งาน คือ การคูณกันเชิงสเกลาร์ของแรงกับระยะทาง ซึ่งงานรวมทั้งหมดหาได้จาก

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

แต่จาก $\vec{F} = q\vec{E}$

$$W_E = q \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

พลังงานศักย์ไฟฟ้า

$\vec{F}_E$ = แรงแวนรูกษ์ (งานที่ได้ไม่ขึ้นกับเส้นทาง)



$$\begin{aligned}\Delta U &= -W_E \\ &= - \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \\ &= -q \int \vec{E} \cdot d\vec{s}\end{aligned}$$

U = พลังงานศักย์ไฟฟ้า (Electric potential energy), q = ประจุใด ๆ

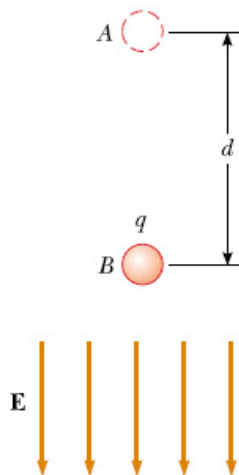
ศักย์ไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้า (electric potential, V) คือ พลังงานศักย์ของประจุไฟฟ้า $+1$ C ที่จุดนั้น ๆ มีหน่วยเป็น จูล/คูลอมป์ หรือ โวลต์ (V)

$$\begin{aligned}V &= \frac{U}{q_0} \\ \Delta V &= \frac{\Delta U}{q_0} = - \int \vec{E} \cdot d\vec{s} \\ W &= q\Delta V\end{aligned}$$

เมื่อ q_0 คือ ประจุทดสอบ และ ΔV คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (electric potential difference)

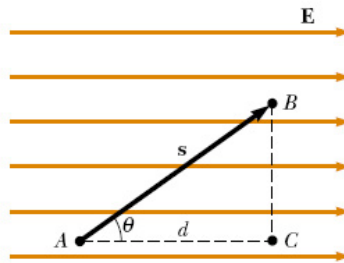
พลังงาน 1 eV คือ พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุ 1 อิเล็กตรอนเพื่อให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 1 โวลต์ ($1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$)



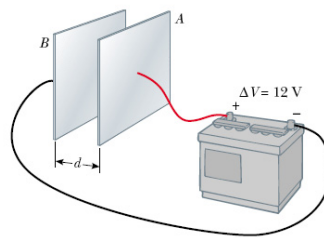
รูปที่ 2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าในสนามสม่ำเสมอ

$$\begin{aligned}
 V_B - V_A &= \Delta V \\
 &= - \int_B^A \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} \\
 &= - \int_B^A E \cos \theta ds \\
 &= - \int_B^A E ds \\
 &= -Ed
 \end{aligned}$$

$$\Delta V = ?$$



รูปที่ 3 ประจุเคลื่อนที่ท่ามกับสนามสม่ำเสมอ

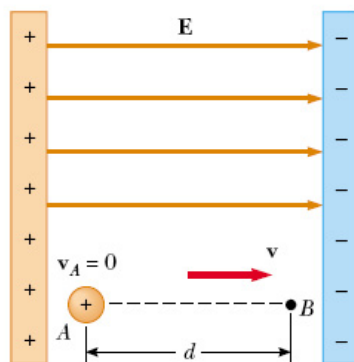


รูปที่ 4 รูปประกอบตัวอย่าง

ตัวอย่าง

จงหาขนาดสนามไฟฟ้าของแผ่นตัวนำขนานที่มีประจุตรงข้ามกัน $d = 0.30 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{|V_B - V_A|}{d} \\
 &= \frac{12}{0.30 \times 10^{-3}} \\
 &= 4.0 \times 10^3 \text{ V/m}
 \end{aligned}$$



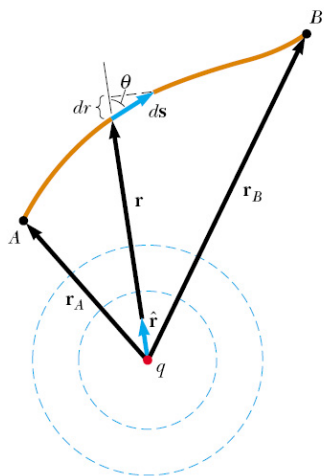
รูปที่ 5 รูปประกอบตัวอย่าง

ตัวอย่าง

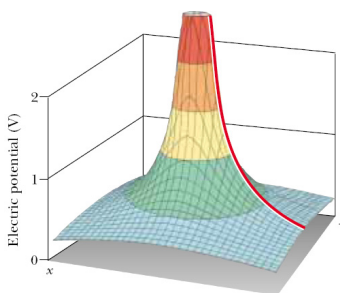
โปรตอนเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 8.0×10^4 V/m เป็นระยะ 0.50 m จงหา ก) ศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจาก A ไป B ข) พลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไป ค) อัตราเร็วที่ห่างจากจุดเริ่มต้น 0.50 m

ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ

$$\begin{aligned}
 V_B - V_A &= - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \\
 \vec{E} \cdot d\vec{s} &= k \frac{q}{r^2} \hat{r} \cdot d\vec{s} \\
 \hat{r} \cdot d\vec{s} &= ds \cos \theta = dr \\
 V_B - V_A &= -kq \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} \\
 &= \frac{kq}{r} \Big|_{r_A}^{r_B} \\
 &= kq \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right]
 \end{aligned}$$



รูปที่ 6 การหาคักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ



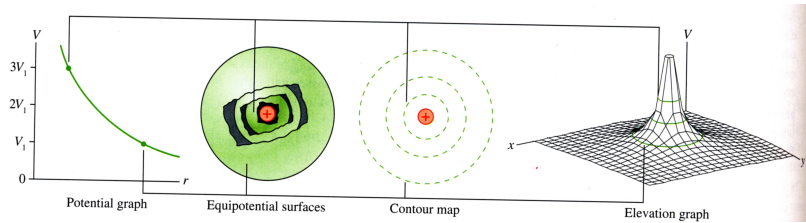
รูปที่ 7 ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุเดี่ยว

ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุเดี่ยว

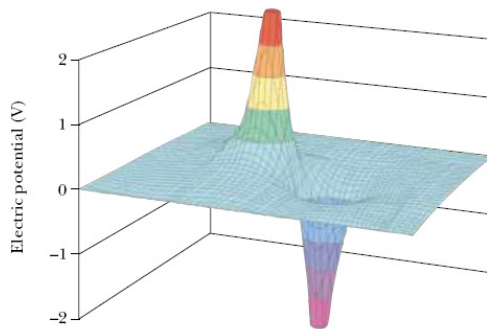
$$V = \frac{kq}{r}$$

$$U = qV$$

จากกราฟศักย์ไฟฟ้าประจุบวกอีกอันหนึ่งเคลื่อนที่แบบใดในบริเวณอิทธิพลของประจุบวกนี้
?



รูปที่ 8 แผนภาพของศักย์ไฟฟ้าแบบต่างๆ



รูปที่ 9 ศักย์ไฟฟ้าของขั้วคู่ไฟฟ้า

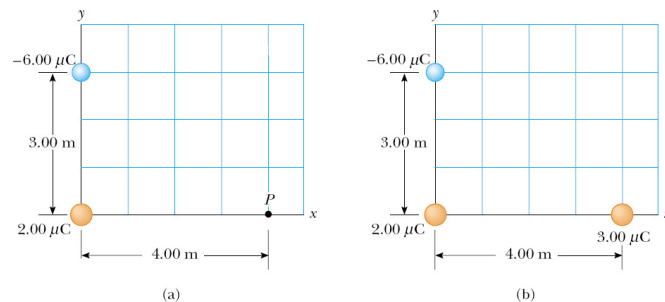
แผนภาพศักย์ไฟฟ้าแบบต่างๆ

ศักย์ไฟฟ้าของขั้วคู่ไฟฟ้า

เมื่อมีประจุมากกว่าหนึ่งอัน ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุทั้งหมดหาได้จาก

$$V = \sum V_i = k \sum \frac{q}{r}$$

ตัวอย่าง



รูปที่ 10 รูปประกอบตัวอย่าง

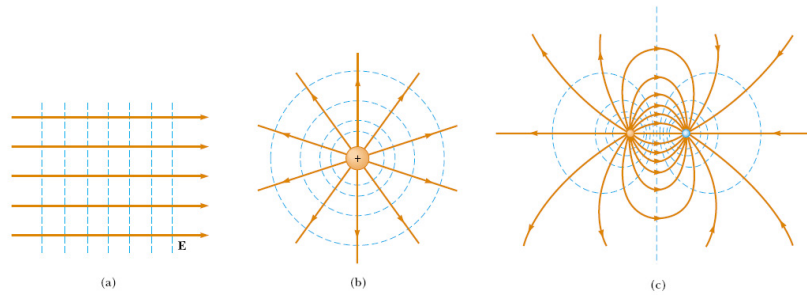
ประจุ $q_1 = 2.00 \mu\text{C}$ อยู่ที่จุดกำเนิดและประจุ $q_2 = -6.00 \mu\text{C}$ อยู่ที่ตำแหน่ง $(0, 3.00) \text{ m}$ ก) จงหาศักย์ไฟฟ้ารวมที่จุด P ซึ่งอยู่ที่จุด $(4.00, 0) \text{ m}$ ข) จงหาพลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไปของการเลื่อนประจุ $q_3 = 3.00 \mu\text{C}$ จากระยะอนันต์มาที่ตำแหน่ง P

เส้นสมศักย์

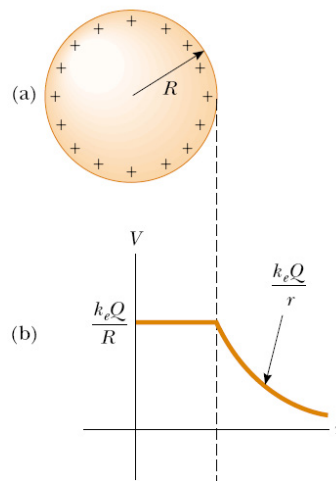
เส้น(ผิว)สมศักย์ (equipotential line, equipotential surface) คือ เส้นที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (ศักย์ไฟฟ้าไม่เปลี่ยนไป) ถ้าประจุเคลื่อนที่ไปตามเส้นสมศักย์จะได้ว่า

$$dV = \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

นั่นแสดงว่า $\vec{E}$ ตั้งฉากกับ $\vec{s}$ หรือตั้งฉากกับผิวสมศักย์นั่นเอง



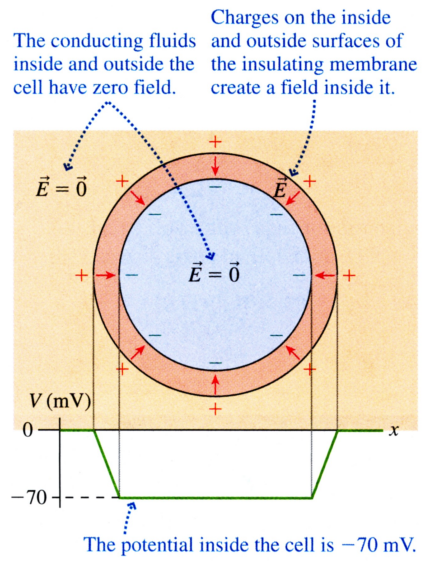
รูปที่ 11 แสดงเส้นสมศักย์ในแบบต่างๆ



รูปที่ 12 ศักย์ไฟฟ้าของตัวนำ

ศักย์ไฟฟ้าของตัวนำ

เนื่องจากที่ผิวของตัวนำในสถานะสมดุลสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ จะตั้งฉากกับระยะกระจัด $d\vec{s}$ จะได้ $V_B - V_A = -\int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$ หรือจุดใดๆ สองจุดที่ผิวตัวนำจะมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน แต่บริเวณที่กว้างกว่าพื้นผิวจะมีศักย์ไฟฟ้าลดลง

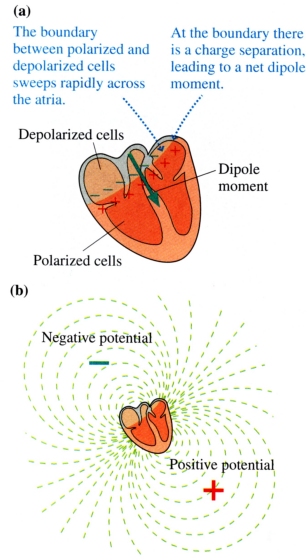


รูปที่ 13 ศักย์ไฟฟ้าของภาคตัดขวางของเซลล์ประสาท

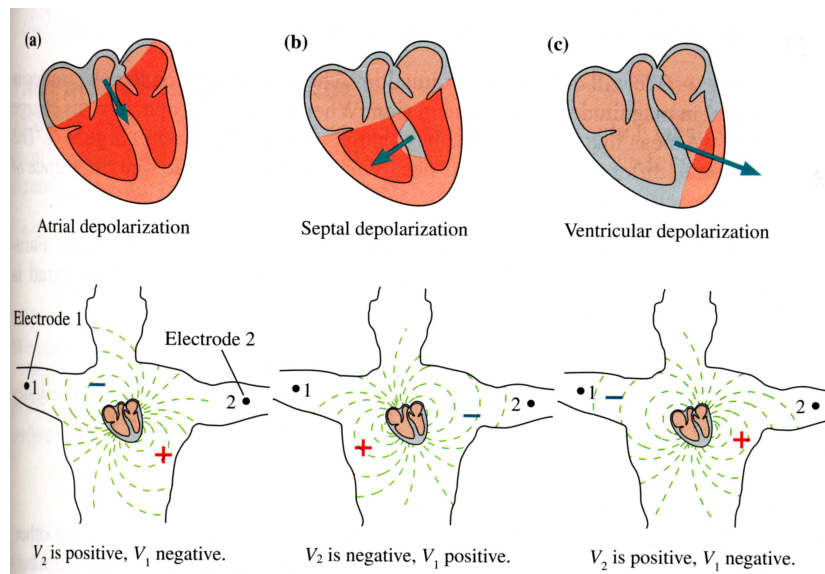
ศักย์ไฟฟ้าของภาคตัดขวางเซลล์ประสาท

สนามไฟฟ้าของหัวใจ

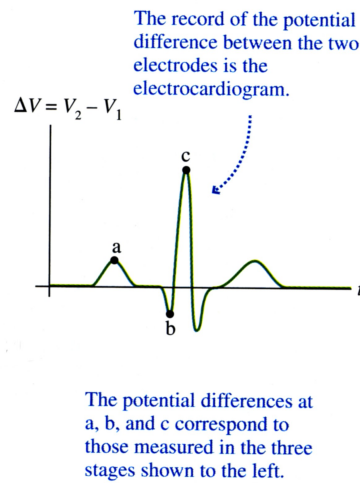
การวัดสัญญาณไฟฟ้าของหัวใจ



รูปที่ 14 สนามไฟฟ้าของหัวใจ



รูปที่ 15 การวัดสัญญาณไฟฟ้าของหัวใจ



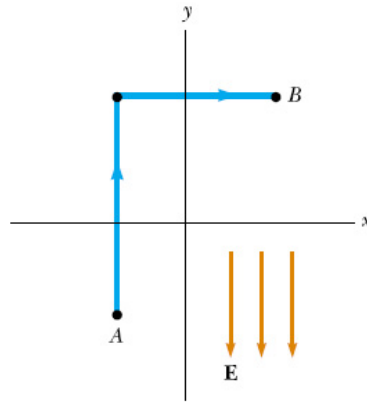
รูปที่ 16 อิเล็กโทรคาดีโอกราฟ

อิเล็กโทรคาดีโอกราฟ (ECG,EKG)

จังหวะการเต้นของหัวใจเริ่มจากแผ่นกระตุ้นหัวใจธรรมชาติที่เรียกว่า หัวใจไซโนอาโทรัล (sinoatrial node, SA) ในบริเวณห้องบนขวา (right atrium) จะส่งสัญญาณไฟฟ้าให้หัวใจห้องบนทั้งซ้ายและขวา เพื่อให้หัวใจด้านบนซ้ายรับเลือดจากเส้นเลือดเอออร์ตาและบนขวารับเลือดดำจากเส้นเลือดดำใหญ่ จะทำให้เกิดยอดคลื่น P ในคนปกติจะมีการส่งสัญญาณจากหัวใจ SA ประมาณ 72 ครั้งต่อวินาที ในจังหวะที่เลือดไหลลงสู่หัวใจห้องล่างหัวใจ SA จะหยุดพัก และไฟฟ้าจะเคลื่อนที่สู่กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เป็นหัวใจไฟฟ้าอีกอันหนึ่งเรียกว่า อทริโอเวนทริคิวลา (atrioventricular node, AV) ซึ่งอยู่บริเวณหัวใจห้องล่าง ทำหน้าที่กระตุ้นหัวใจห้องล่างให้บีบตัว เหมือนปั๊ม น้ำ หัวใจ AV นี้จะกระตุ้นด้วยแรงทางไฟฟ้าที่สูงกว่าครั้งแรกส่งเลือดดำที่มีออกซิเจนน้อยสู่ปอด และเลือดแดงสู่ร่างกาย กระบวนการนี้ทำให้เกิดคลื่น QRS ส่วนคลื่น T เกิดจากการกลับสู่สภาพเดิม (repolarization) ของหัวใจด้านบน

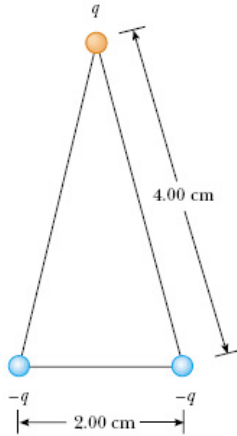
2 แบบฝึกหัด

1. กรณีที่อิเล็กตรอนถูกปล่อยจากหยุดนิ่งในบริเวณที่ว่างที่สนามไฟฟ้าไม่เป็นศูนย์ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ที่พลังงานศักย์ทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพราะเหตุใด
2. กรณีที่ปล่อยอิเล็กตรอนจากหยุดนิ่งในบริเวณที่ว่างที่สนามไฟฟ้าไม่เป็นศูนย์ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่มันจะรู้สึกว่ายึดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพราะเหตุใด
3. จงอธิบายในเชิงกายภาพว่าทำไมพลังงานศักย์ไฟฟ้าของกลุ่มประจุที่มีเครื่องหมายเหมือนกันจึงเป็นบวกและกลุ่มประจุที่มีเครื่องหมายต่างกันจึงมีค่าเป็นลบ



รูปที่ 17 ภาพประกอบคำถามที่ 6

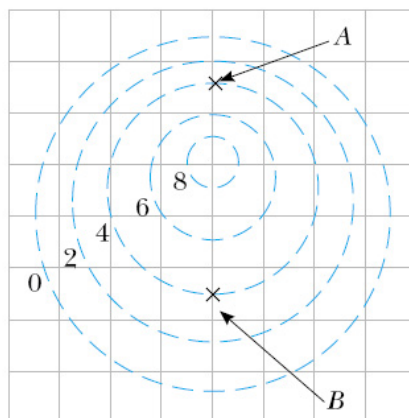
4. ก) จงคำนวณอัตราเร็วของโปรตอนที่ถูกเร่งจากหยุดนิ่งผ่านความต่างศักย์ 120 V ข) จงคำนวณอัตราเร็วของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน
5. ถ้าปล่อยอิเล็กตรอนจากหยุดนิ่งในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่มีขนาดเท่ากับ $5.90 \times 10^3 \text{ V/m}$ ก) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเป็นเท่าใดถ้ามันเคลื่อนที่เป็นระยะ 1.00 cm ข) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ได้เร็วเท่าใดหลังจากผ่านตำแหน่ง 1.00 cm
6. กำหนดให้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 325 V/m ในทิศลบ y ในรูป 17 ถ้าจุด A คือ $(-0.200, -0.300) \text{ m}$ และจุด B คือ $(0.400, 0.500)$ จงคำนวณความต่างศักย์ที่จุด A และ B สำหรับทางเดินเส้นสีฟ้า
7. ก) จงหาศักย์ไฟฟ้าที่ระยะทาง 1.00 cm ของโปรตอน ข) ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 1.00 cm และ 2.00 cm ห่างจากโปรตอน ค) จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเปลี่ยนจากโปรตอนเป็นอิเล็กตรอนในข้อ ก) กับ ข)
8. กำหนดให้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด $6.1 \times 10^5 \text{ N/C}$ มีทิศตามแนวแกนบวก X จงหา การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดกำเนิดกับจุด ก) $(0, 6.0) \text{ m}$ ข) $(6.0, 0) \text{ m}$ และ ค) $(6.0, 6.0) \text{ m}$
9. ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตปกติจะมีศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์สูงกว่าศักย์ภายนอกเซลล์อยู่ 0.070 V ถ้าผนังเซลล์มีความหนา 0.10 μm สนามไฟฟ้าของผนังเซลล์มีขนาดและทิศทางเป็นอย่างไร
10. เซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะปั๊มโซเดียมไอออนบวก (Na^+) จากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอก กระบวนการนี้จะเกิดการทำงานเพราะเป็นการเคลื่อนที่ประจุบวกออกจากผิวภายในซึ่งเป็นลบไปสู่ผิวภายนอกซึ่งเป็นบวก ถ้ากำหนดให้ศักย์ไฟฟ้าภายในสูงกว่าภายนอกอยู่ 0.070 V และผนังเซลล์มีความหนา 0.10 μm ก) จงคำนวณงานที่ต้องทำในหน่วยจูลในการเคลื่อนโซเดียมไอออนหนึ่งไอออน



รูปที่ 18 ภาพประกอบคำถามที่ 11

จากภายในเซลล์สู่ภายนอกเซลล์ ข) ถ้าความหนาของผนังเซลล์เพิ่มขึ้นงานที่ทำในข้อ ก) จะเพิ่มขึ้น ลดลง หรือ เท่าเดิม จงให้เหตุผล (มีการประมาณว่าพลังงานที่เรابرโลกเข้าไปจะใช้ในกระบวนการปั๊มโซเดียมในสภาวะพักถึง 20 %

11. ประจุสามอันวางอยู่เป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วดังรูป 18 จงคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางฐานเมื่อกำหนดให้ $q = 7.00 \mu\text{C}$
12. รูป 19 แสดงเส้นสมศักย์ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าเขียนแสดงดังรูปในหน่วยโวลต์ และกำหนดให้ช่องกริดห่างกัน 1 cm ก) ขนาดของสนามไฟฟ้าที่จุด A และ B ต่างกันหรือไม่ ข) เวกเตอร์ $\vec{E}$ ที่จุด B เป็นอย่างไร ค) จงเขียนแสดงเส้นสนามไฟฟ้านี้มาอย่างน้อยแปดเส้น



รูปที่ 19 ภาพประกอบคำถามที่ 12