

บทที่ 9 สนามแม่เหล็กเนื่องจากกระแสไฟฟ้า

ในบทเรียนจะประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

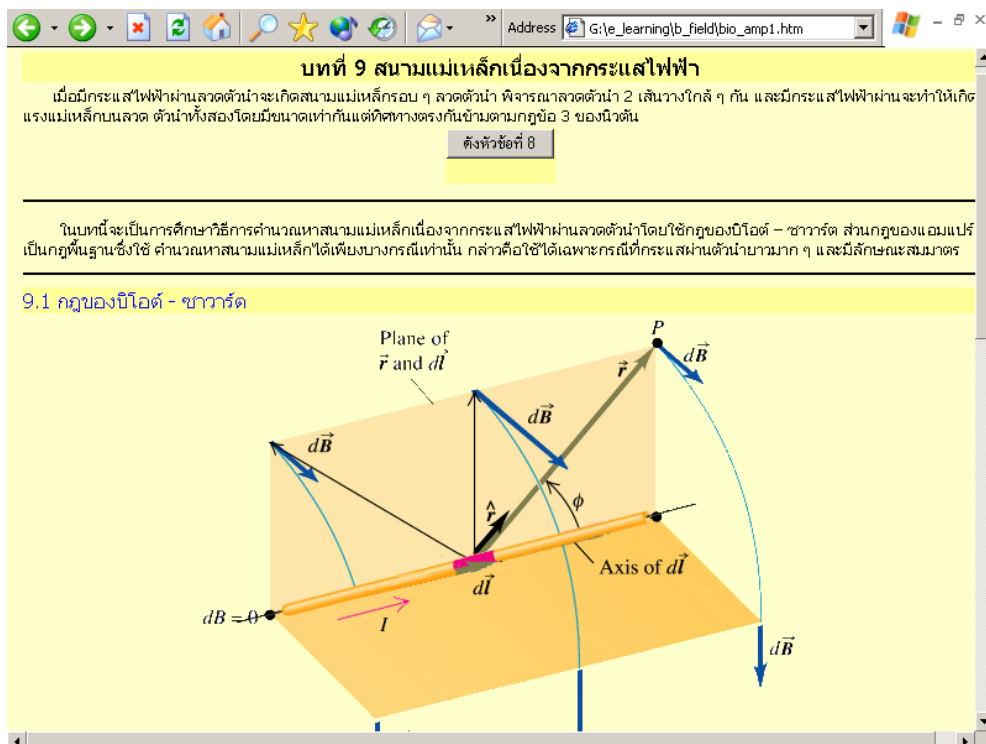
- 9.1 กฎของบีโอดต์ - ซาวาร์ต
- 9.2 กฎของแอมแปร์
- 9.3 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์
 - สนามแม่เหล็กภายนอกขดลวดโซลินอยด์
 - สนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม หลังจากที่ผู้เรียนได้ทำการศึกษาเรื่องนี้จะสามารถ

1. อธิบายสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โดยใช้กฎของบีโอดต์ - ซาวาร์ต ได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โดยใช้กฎของแอมแปร์ ได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์ ได้อย่างถูกต้อง

9.1 กฎของบีโอดต์ - ซาวาร์ต

1. ที่หน้าจอหลักคลิกที่ “กฎของบีโอดต์ - ซาวาร์ต” จะปรากฏหน้าจอ ดังรูป



2. เมื่อเลื่อนหน้าจอลงจะพบคำอธิบายเกี่ยวกับกฎของบิโอดี-ซาวาร์ต ดังรูป

9.1 กฎของบิโอดี - ซาวาร์ต

รูปที่ 9.1

จากรูปที่ 9.1 ลวดยาวมีกระแสไฟฟ้า I (ลวดจะตรงหรือไม่ก็ได้) สนามแม่เหล็ก $d\vec{B}$ ที่จุด P ใดๆ หาได้โดยการแบ่งลวดออกเป็นส่วนเล็ก ๆ $d\vec{l}$ โดยส่วนเล็ก ๆ นี้อยู่ห่างจากจุดที่ต้องการหาสนามแม่เหล็กเป็นระยะทาง r ดังนั้น $d\vec{B}$ เนื่องจาก $d\vec{l}$ ที่ระยะทาง r คือ

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

และขนาดของ $d\vec{B}$ คือ

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \phi}{4\pi r^2}$$

สมการนี้เรียกว่า กฎของบิโอดีและซาวาร์ต (Bio and Savart) ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่จุด เนื่องจากลวดตัวนำทั้งเส้น คือ

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

ขนาดของ B คือ

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I dl \sin \phi}{r^2}$$

เมื่อ

- $\frac{\mu_0}{4\pi}$ เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $10^{-7} (Wb / A - m)$
- $d\vec{l}$ คือส่วนเล็ก ๆ ของลวดตัวนำที่ติดตามกระแส I
- \hat{r} คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของเวกเตอร์ \vec{r}
- \vec{r} คือเวกเตอร์ r มีทิศจากลวดตัวนำไปยังจุดที่ต้องการหาสนามแม่เหล็ก
- r คือขนาดของเวกเตอร์
- ϕ คือมุมระหว่าง \vec{l} กับ \vec{r}
- $d\vec{B}$ คือสนามแม่เหล็กที่เกิดจากลวดยาว

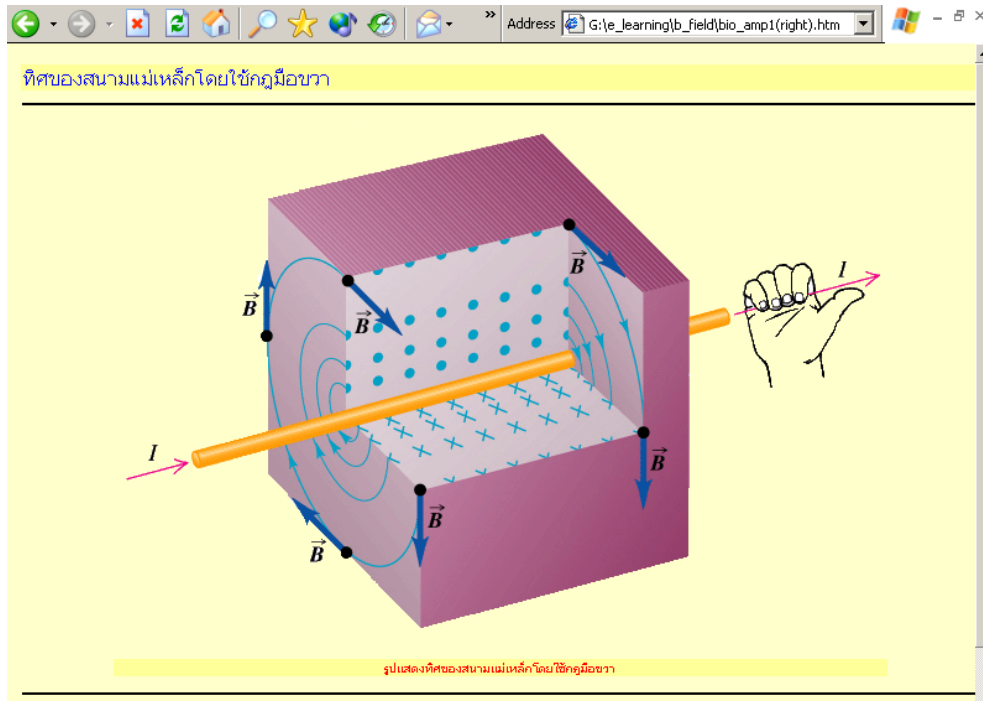
ทิศของสนามแม่เหล็กหาได้โดยใช้กฎมือขวา

ปุ่มแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา


แสดงทิศสนามแม่เหล็ก applet

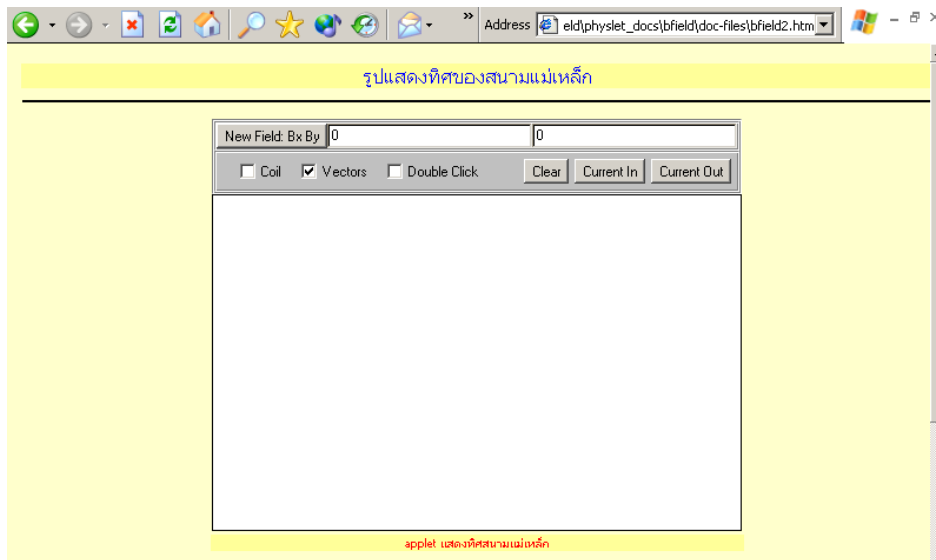
แสดงทิศสนามแม่เหล็ก Applet

3. เมื่อกดปุ่ม แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา จะได้ภาพปรากฏบนหน้าจอ ดังรูป



จากภาพหน้าจอจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า โดยสามารถหาทิศทางของสนามแม่เหล็กได้โดยใช้กฎมือขวา

4. กดปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้
5. กดปุ่มแสดงทิศทางสนามแม่เหล็ก Applet เพื่อศึกษาเพิ่มเติม เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนเส้นลวดตัวนำเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งจะปรากฏหน้าจอ ดังรูป



จากรูปนักศึกษาสามารถศึกษาทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดตัวนำหรือสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโดยทำได้ดังนี้



- Coil คลิกเลือกของนี้ดังรูปเมื่อต้องการดูทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด
- Coil ปล่อยให้ว่างไว้เมื่อต้องการเมื่อต้องการดูทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวด
- Vectors คลิกเลือกเมื่อต้องการให้แสดงทิศของสนามแม่เหล็ก
- Double Click คลิกเลือกเมื่อต้องการทิศสนามแม่เหล็กรวม **จากนั้นให้ไป double Click บริเวณที่ว่างในกรอบรูป**

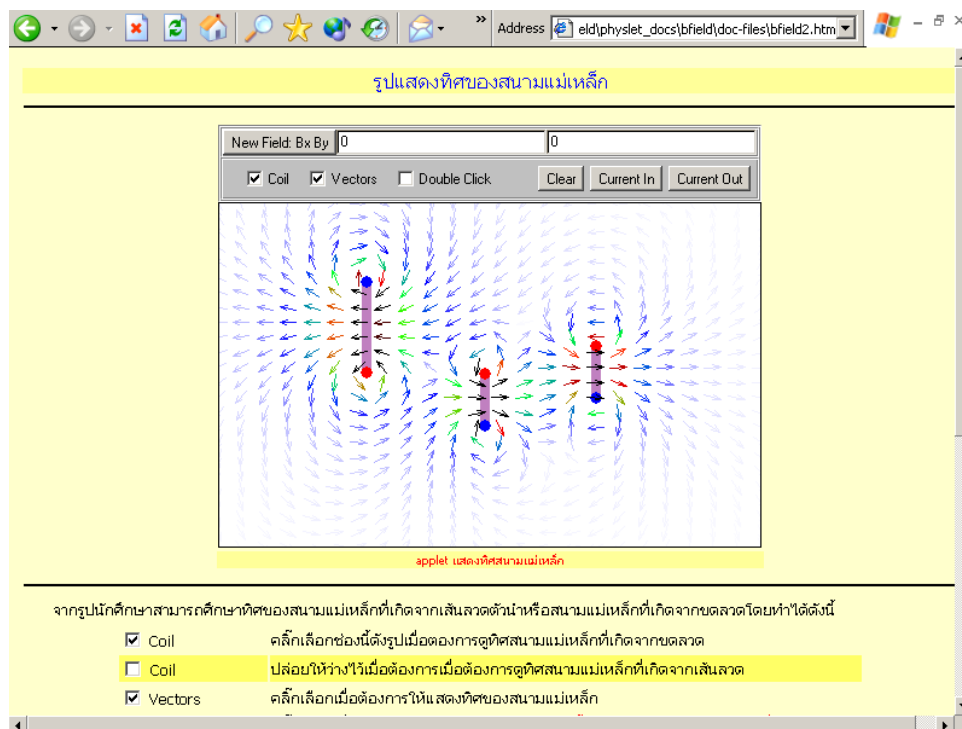
กรณีศึกษาทิศสนามแม่เหล็กของขดลวด


Clear		คลิกปุ่มนี้เริ่มต้นใหม่
Current In		คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงขดลวดด้านบนมีสีแดง
Current Out		คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงขดลวดด้านบนมีสีน้ำเงิน

กรณีศึกษาทิศสนามแม่เหล็กของเส้นลวด

Clear	คลิกปุ่มนี้เริ่มต้นใหม่
Current In	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงเส้นลวดสีน้ำเงิน โดยมีทิศกระแสไฟฟ้าพุ่งเข้าสู่ระนาบของรูป
Current Out	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงเส้นลวดสีน้ำแดง โดยมีทิศกระแสไฟฟ้าพุ่งออกจากระนาบของรูป

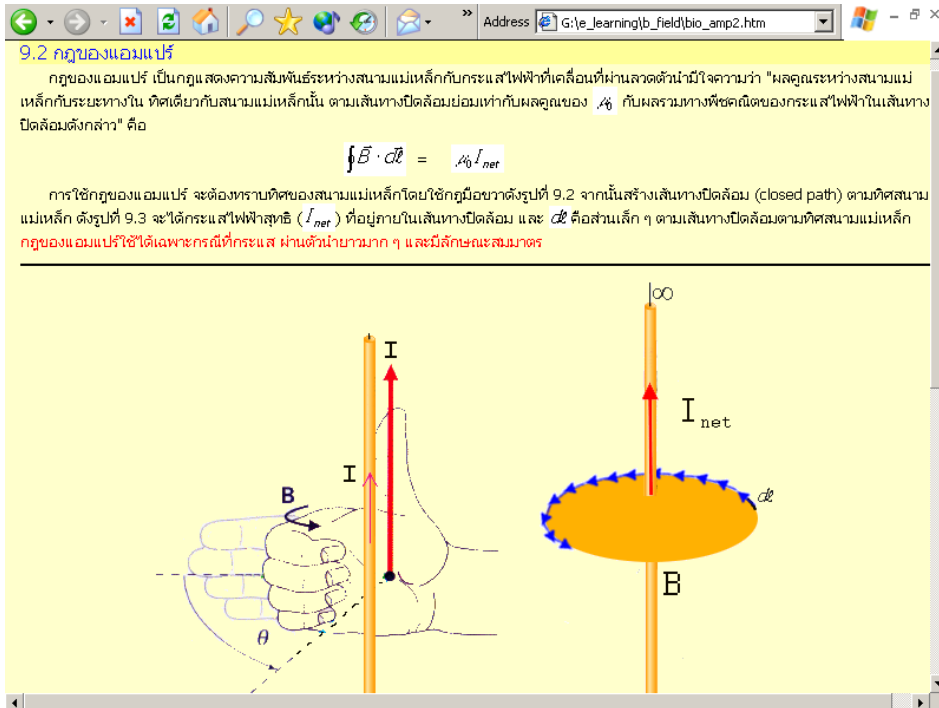
6. เมื่อคลิกเลือกปุ่มที่ต้องการแล้วคลิกที่ปุ่ม  และ  จะปรากฏลวดชั้นบนหน้าจอ ซึ่งนักศึกษาสามารถเคลื่อนย้ายขดลวดเหล่านี้ได้โดยการคลิกเมาส์ค้างไว้ที่กึ่งกลางของขดลวดจากนั้นลากไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าต้องการเพิ่มขนาดความยาวของขดลวดทำได้โดยการคลิกเมาส์ค้างไว้ที่ตำแหน่งสีแดงหรือสีน้ำเงินแล้วลากปรับขนาดตามต้องการ



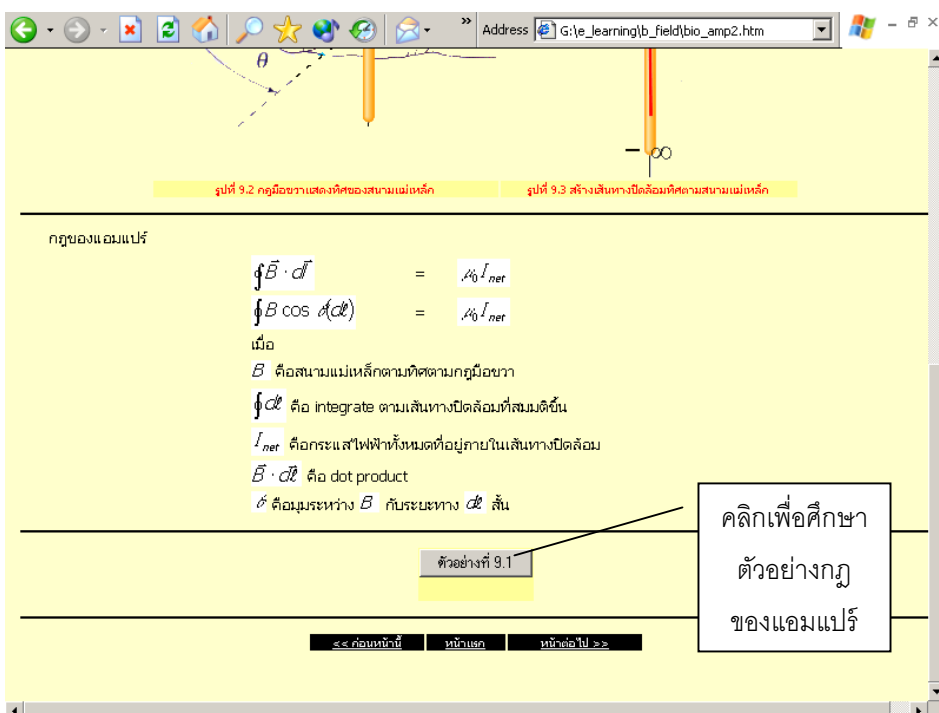
7. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้
8. คลิกที่ หน้าต่อไป จะพบหน้าจอที่ 9.2

9.2 กฎของแอมแปร์

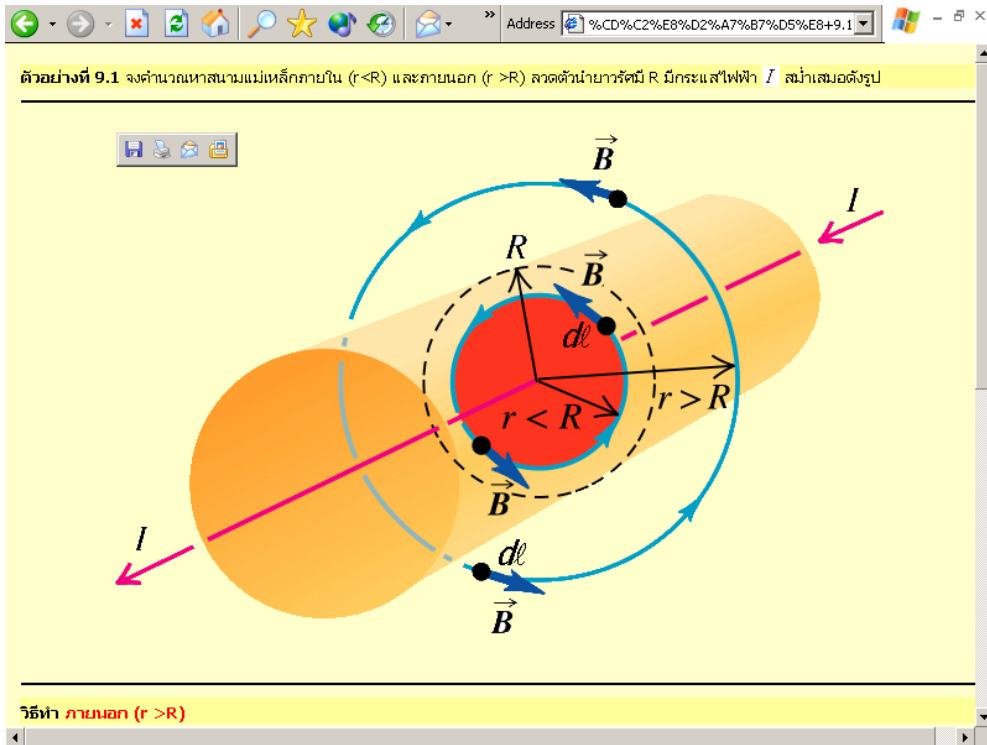
1. ที่หน้าจอหลักคลิกที่ “กฎของแอมแปร์” จะปรากฏหน้าจอ ดังรูป



2. เมื่อเลื่อนหน้าจอลงจะพบคำอธิบายเกี่ยวกับกฎของแอมแปร์ ดังรูป



3. คลื่นที่ป้อนตัวอย่างที่ 9.1 จะแสดงหน้าจอดังรูป



วิธีทำ ภายนอก ($r > R$)

สร้างเส้นทางปิดล้อมรัศมี r รอบลวดตัวนำรัศมี R (เส้นสีฟ้า) ที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะทาง r สนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากันทุกจุดตามกฎของอัมแปร์ พิสูจน์ว่า เส้นทางเล็ก ๆ dl

จากรูปในเส้นทางปิดล้อมที่สร้างขึ้นมีกระแสไฟฟ้าอยู่ภายใน I นั่นคือ $I_{net} = I$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{net}$$

หรือ $\oint B dl (\cos 0^\circ) = \mu_0 I_{net}$

$$B(2\pi r) = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

ภายใน ($r < R$)


สร้างเส้นทางปิดล้อมรัศมี r รอบลวดตัวนำรัศมี R (เส้นสีฟ้า ภายในสีแดง) ที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะทาง r สนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากันทุกจุด ตามกฎของอัมแปร์ พิสูจน์ว่า เส้นทางเล็ก ๆ dl

จากรูปในเส้นทางปิดล้อมที่สร้างขึ้น กระแสไฟฟ้าจะพิจารณาเฉพาะส่วนที่อยู่ภายในเส้นทางปิดล้อม (สีแดง) รัศมี r เท่านั้นกระแสสุทธิหาได้โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ นั่นคือ $I_{net} = \frac{\pi r^2 I}{\pi R^2}$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{net}$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 \frac{\pi r^2 I}{\pi R^2}$$

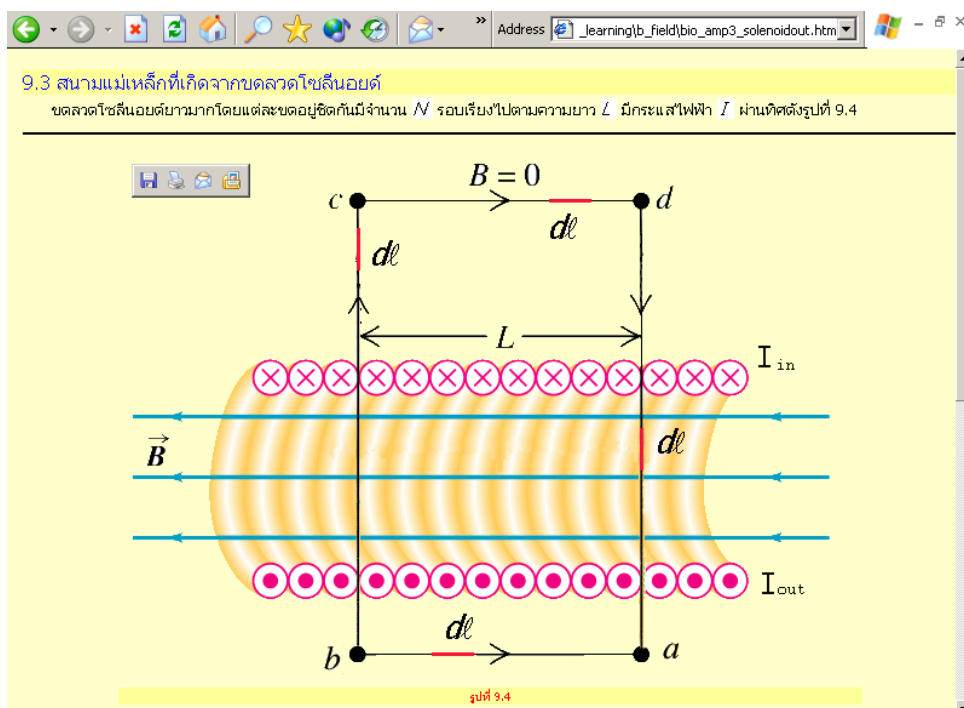
$$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$$


4. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้
5. คลิกที่ หน้าต่อไป จะพบหน้าจอหัวข้อที่ 9.3

9.3 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซลินอยด์

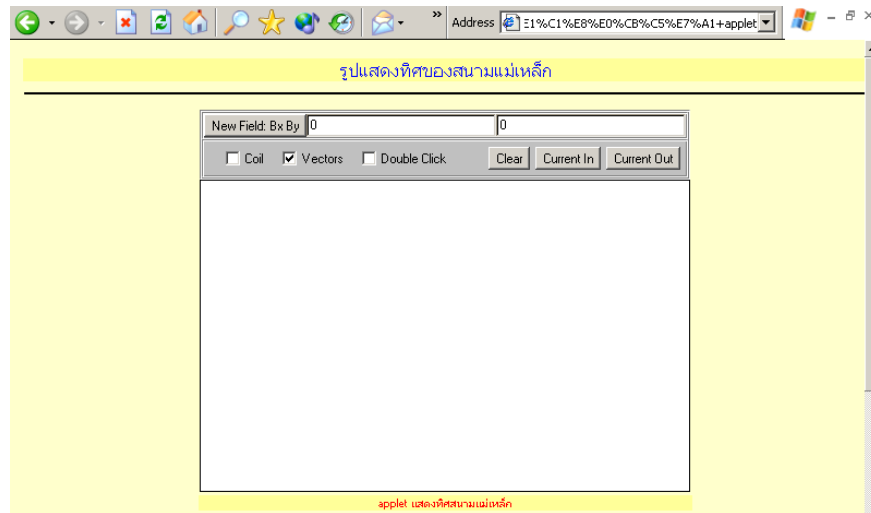
- สนามแม่เหล็กภายนอกขดลวดโซลินอยด์

1. ที่หน้าจอหลักคลิกที่ “สนามแม่เหล็กภายนอกขดลวดโซลินอยด์” จะปรากฏหน้าจอดังรูป



2. จากภาพหน้าจอแสดงสนามแม่เหล็กภายนอกขดลวดโซลินอยด์ โดยเมื่อเลื่อนหน้าจอลงจะพบคำอธิบายเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและมีปุ่มต่าง ๆ ให้นักศึกษาศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้
 - แสดงทิศสนามแม่เหล็ก applet
 - แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
 - แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก applet
3. เมื่อต้องการศึกษาหัวข้อใด ก็สามารถคลิกที่หัวข้อที่ต้องการได้ และเมื่อคลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอ

- แสดงทิศสนามแม่เหล็ก applet



จากรูปนักศึกษาสามารถศึกษาทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดตัวนำหรือสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโดยทำได้ดังนี้

- Coil คลิกเลือกของนี้ตั้งรูปเมื่อต้องการดูทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด
- Coil ปล่อยให้ว่างไว้เมื่อต้องการเมื่อต้องการดูทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวด
- Vectors คลิกเลือกเมื่อต้องการให้แสดงทิศของสนามแม่เหล็ก
- Double Click คลิกเลือกเมื่อต้องการทิศสนามแม่เหล็กรวม **จากนั้นให้ไป double Click บริเวณที่ว่างในกรอบรูป**

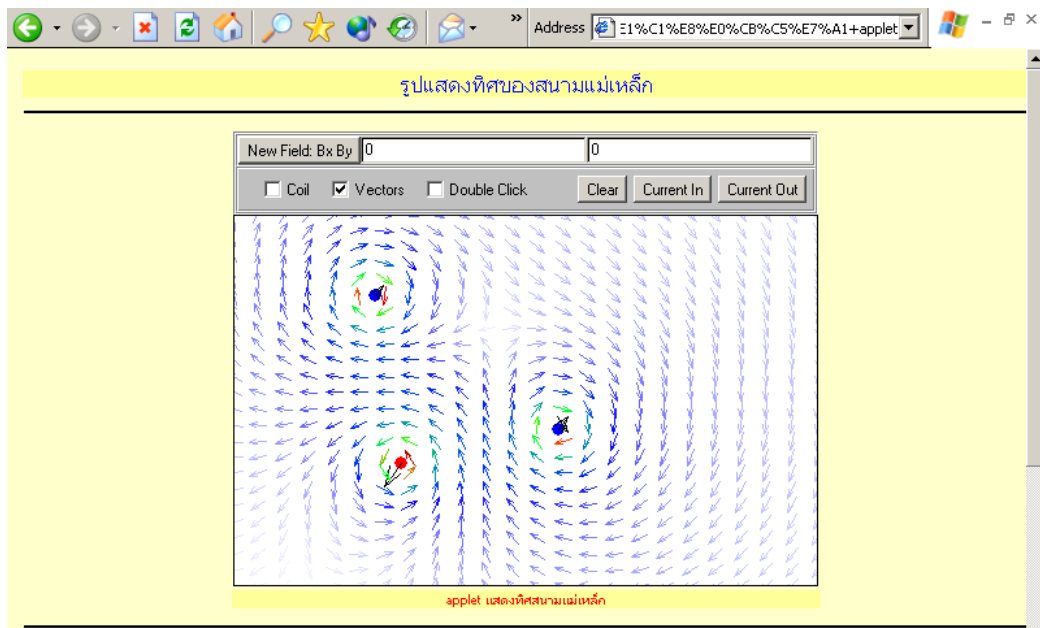
กรณีศึกษาทิศสนามแม่เหล็กของขดลวด

Clear		คลิกปุ่มนี้เริ่มต้นใหม่
Current In		คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงขดลวดด้านบนมีสีแดง
Current Out		คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงขดลวดด้านบนมีสีน้ำเงิน

กรณีศึกษาทิศสนามแม่เหล็กของเส้นลวด

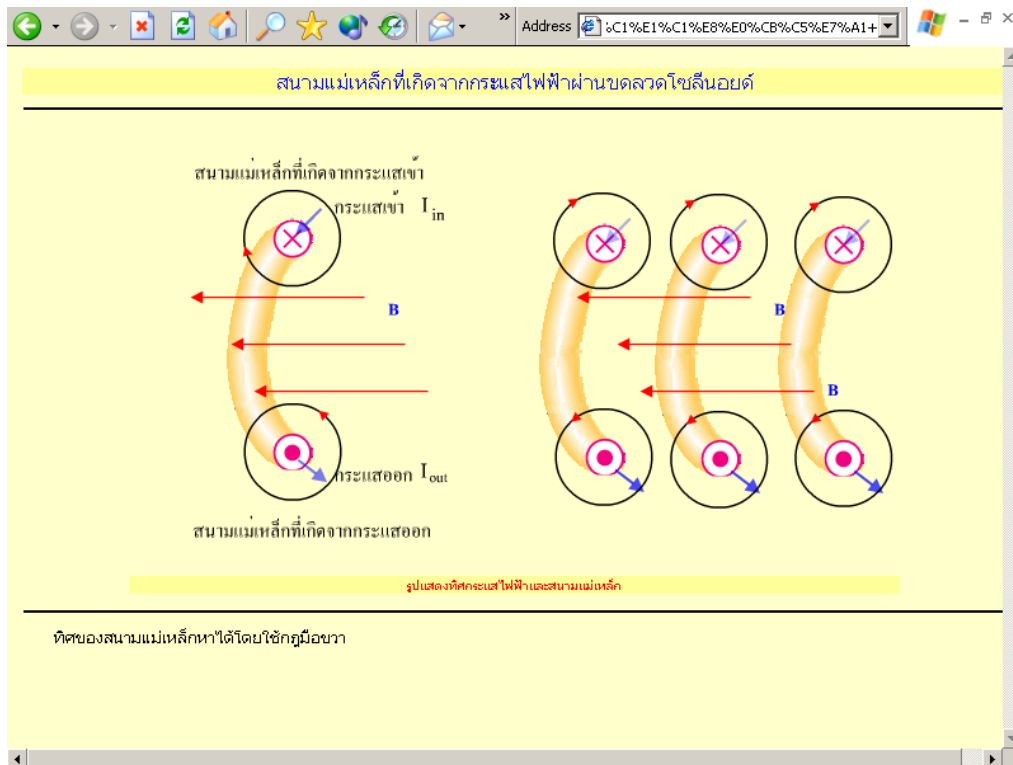
Clear	คลิกปุ่มนี้เริ่มต้นใหม่
Current In	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงเส้นลวดสีน้ำเงิน โดยมีทิศกระแสไฟฟ้าพุ่งเข้าสู่ระนาบของรูป
Current Out	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงเส้นลวดสีแดง โดยมีทิศกระแสไฟฟ้าพุ่งออกจากระนาบของรูป

เมื่อคลิกเลือกปุ่มที่ต้องการแล้วคลิกที่ปุ่ม และ จะปรากฏลวดขึ้นบนหน้าจอ ซึ่งนักศึกษาสามารถเคลื่อนย้ายลวดเหล่านี้ได้โดยการคลิกเมาส์ค้างไว้ที่กึ่งกลางของขดลวดจากนั้นลากไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าต้องการเพิ่มขนาดความยาว ของขดลวดทำได้โดยการคลิกเมาส์ค้างไว้ที่ตำแหน่งสีแดงหรือน้ำเงินแล้วลากปรับขนาดตามต้องการ




4. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้

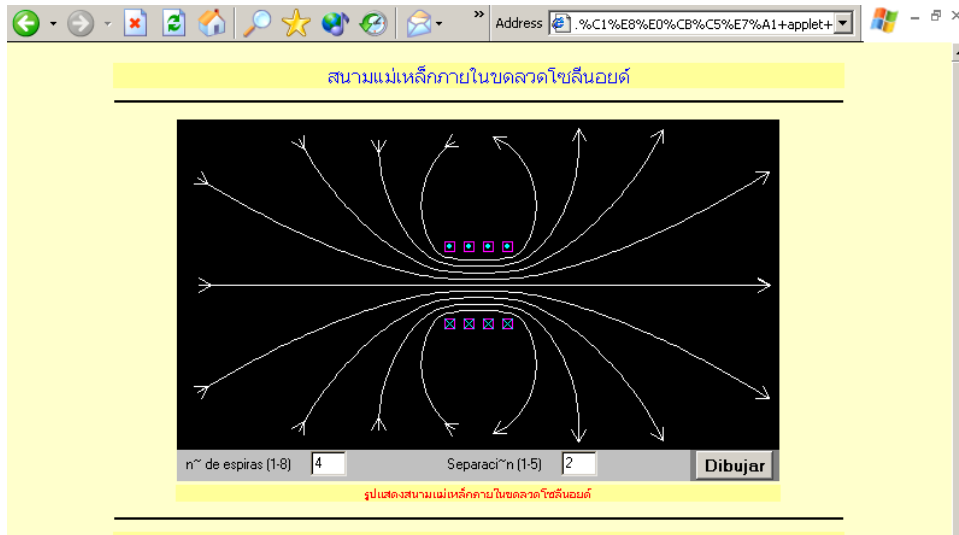
- แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก




จากภาพหน้าจอแสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดโซลินอยด์

5. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้

- แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก applet

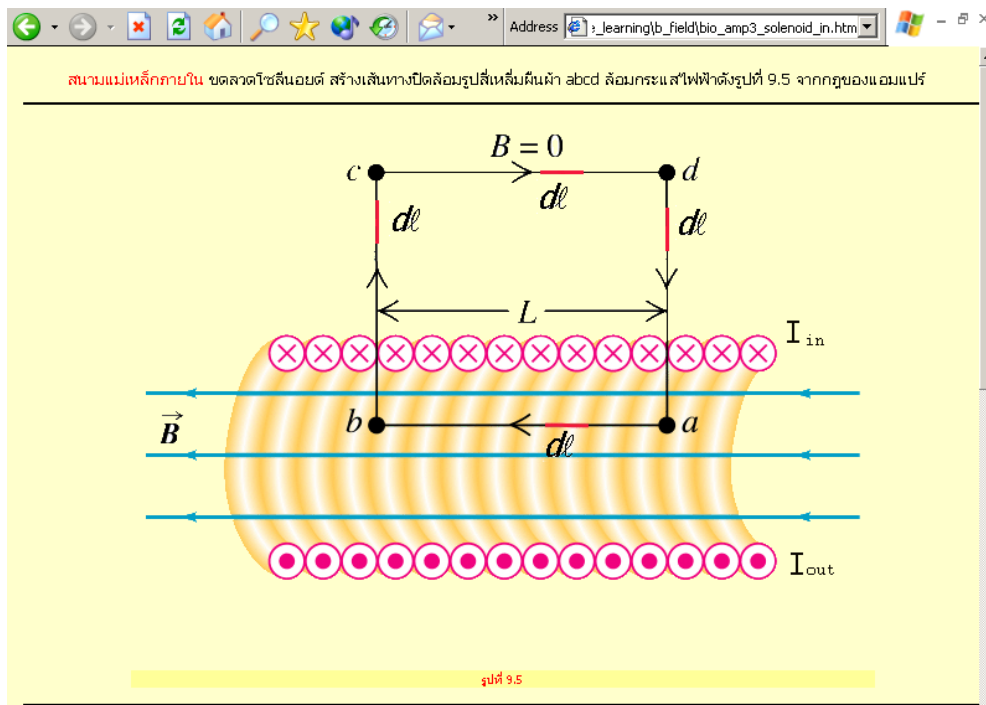


จากภาพหน้าจอแสดงสนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์ โดยนักศึกษาสามารถทำการทดลองบนหน้าจอได้โดยให้นักศึกษาใส่จำนวนขดลวดที่ต้องการลงด้านหลังคำว่า n_de espiras (1-8) สามารถกำหนดได้ 1 ถึง 8 ขด และใส่ระยะห่างระหว่างขดลวดลงด้านหลังคำว่า Separaci_n (1-5) สามารถกำหนดได้ 1 ถึง 5 ระยะ จากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม Dibujar

6. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้
7. คลิกที่ หน้าต่อไป จะพบหน้าจอสนามแม่เหล็กภายใน ขดลวดโซลินอยด์

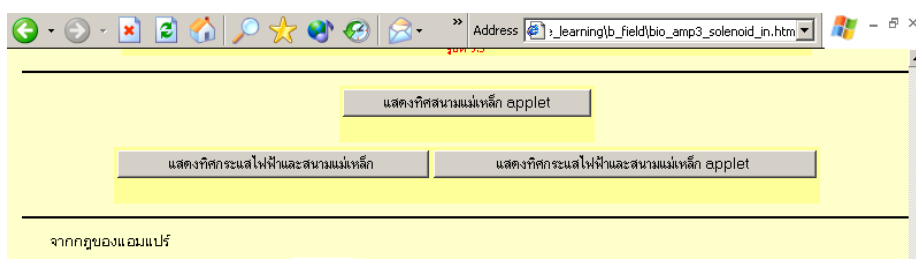
- สนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์

1. ที่หน้าจอหลักคลิกที่ “สนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์” จะปรากฏหน้าต่างดังรูป



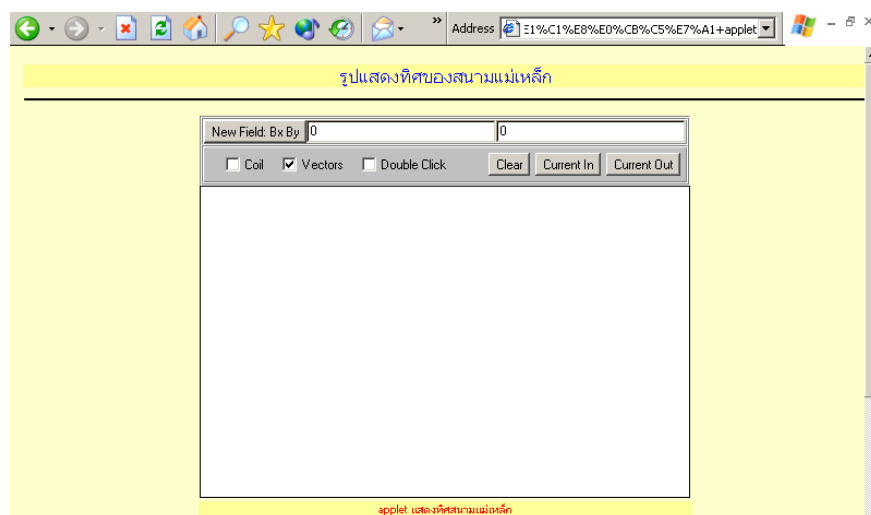
2. จากภาพหน้าจอแสดงสนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์ โดยเมื่อเลื่อนหน้าจอลงจะพบคำอธิบายเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและมีปุ่มต่าง ๆ ให้นักศึกษาศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

- แสดงทิศสนามแม่เหล็ก applet
- แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
- แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก applet



3. เมื่อต้องการศึกษาหัวข้อใด ก็สามารถคลิกที่หัวข้อที่ต้องการได้ และเมื่อคลิกที่ปุ่ม สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจออื่น

- แสดงทิวทัศน์แม่เหล็ก applet



จากรูปนักศึกษาสามารถศึกษาทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดตัวนำหรือสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโดยทำได้ดังนี้

- Coil คลิกเลือกของนี้ดังรูปเมื่อต้องการดูทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด
- Coil ปล้่อยให้ว่างไว้เมื่อต้องการเมื่อต้องการดูทิศสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวด
- Vectors คลิกเลือกเมื่อต้องการให้แสดงทิศของสนามแม่เหล็ก
- Double Click คลิกเลือกเมื่อต้องการทิศสนามแม่เหล็กรวม **จากนั้นให้ไป double Click บริเวณที่ว่างในกรอบรูป**

กรณีศึกษาทิศสนามแม่เหล็กของขดลวด

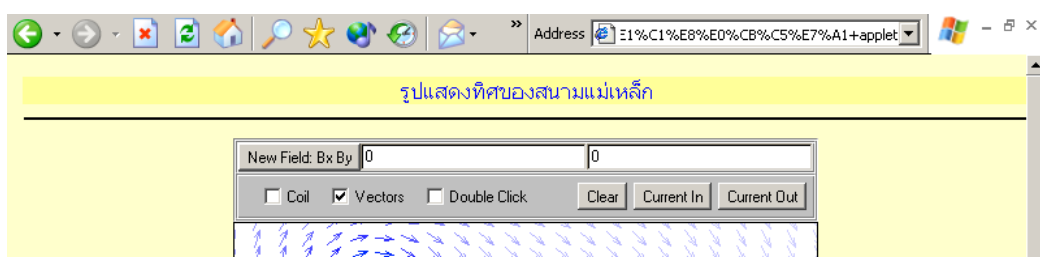
Clear	คลิกปุ่มนี้เริ่มต้นใหม่
Current In	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงขดลวดด้านบนมีสีแดง
Current Out	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงขดลวดด้านบนมีสีน้ำเงิน

กรณีศึกษาทิศสนามแม่เหล็กของเส้นลวด

Clear	คลิกปุ่มนี้เริ่มต้นใหม่
Current In	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงเส้นลวดสีน้ำเงิน โดยมีทิศกระแสไฟฟ้าพุ่งเข้าสู่ระนาบของรูป
Current Out	คลิกเลือกปุ่มนี้จะแสดงเส้นลวดสีแดง โดยมีทิศกระแสไฟฟ้าพุ่งออกจากระนาบของรูป

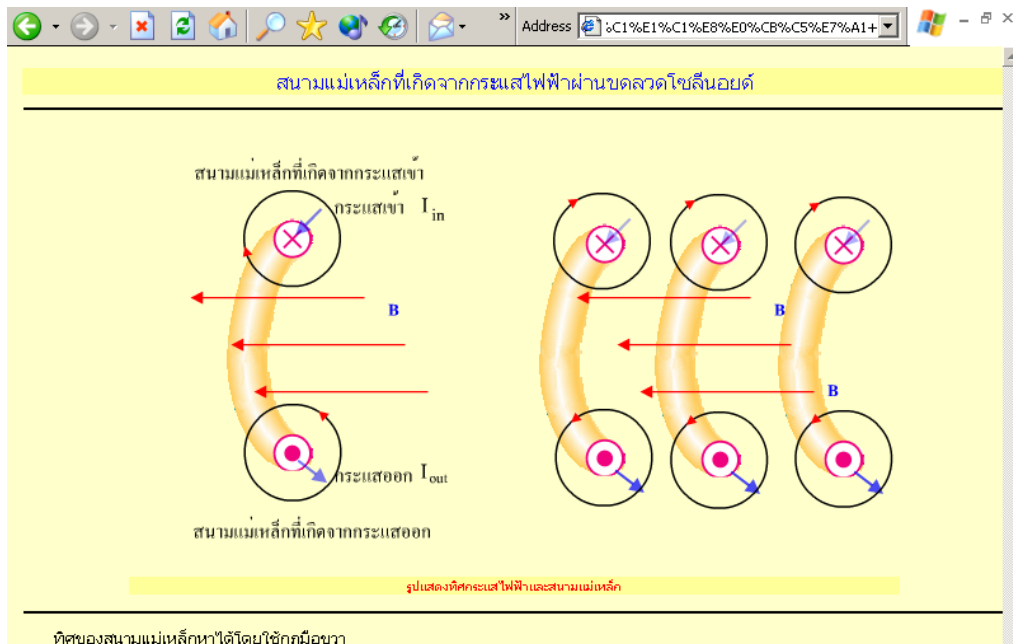
เมื่อคลิกเลือกปุ่มที่ต้องการแล้วคลิกที่ปุ่ม และ จะปรากฏขดลวดขึ้นบนหน้าจอ ซึ่งนักศึกษาสามารถเคลื่อนย้ายขดลวดเหล่านี้ได้โดยการคลิกเมาส์ค้างไว้ที่กึ่งกลางของขดลวดจากนั้นลากไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าต้องการเพิ่มขนาดความยาว ของขดลวดทำได้โดยการคลิกเมาส์ค้างไว้ที่ตำแหน่งสีแดงหรือสีน้ำเงินแล้วลากปรับขนาดตามต้องการ

Depa




4. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้

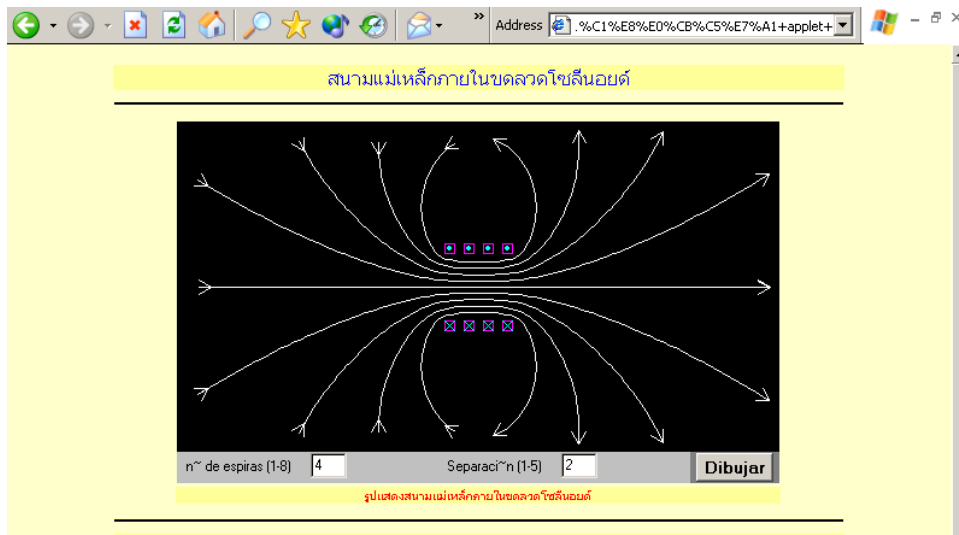
- แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก





จากภาพหน้าจอแสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดโซลินอยด์

5. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้

- แสดงทิศกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก applet



จากภาพหน้าจอแสดงสนามแม่เหล็กภายในขดลวดโซลินอยด์ โดยนักศึกษาสามารถทำการทดลองบนหน้าจอได้โดยให้นักศึกษาใส่จำนวนขดลวดที่ต้องการลงด้านหลังคำว่า n_de espiras (1-8) สามารถกำหนดได้ 1 ถึง 8 ขด และใส่ระยะห่างระหว่างขดลวดลงด้านหลังคำว่า Separaci_n (1-5) สามารถกำหนดได้ 1 ถึง 5 ระยะ จากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม 

6. คลิกที่ปุ่ม  สีเขียวด้านบนมุมซ้าย จะกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้
7. คลิกที่ หน้าต่อไป จะพบหน้าจอของบทที่ 10