



หนังสือชุดเทคนิคการเรียนรู้ฟิสิกส์



ไฟฟ้าแม่เหล็ก

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ประกอบด้วย

- คุณสมบัติของแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
- สนามแม่เหล็ก
- แรงจากสนามแม่เหล็ก
- แรงและโมเมนต์ที่เกิดกับโครงสร้างในสนามแม่เหล็ก
- กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก
- สรุปสาระสำคัญ เรื่อง ไฟฟ้าแม่เหล็ก
- แบบทดสอบไฟฟ้าแม่เหล็ก

กวียา เนาวประทีป

วศ.บ.เกียรตินิยม (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย), M.S., M.A. (University of Michigan, USA)

เทคนิคการเขียนพิกส์ : ไฟฟ้าแม่เหล็ก

เขียนโดย กวียา เนาวประทีป

ISBN (E-book) 2025-0910-0029-4

จำหน่ายอีบุ๊ก ตุลาคม 2568

ราคา 77 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ. 2558

เนื้อหา รูปเล่ม และภาพประกอบในหนังสือเล่มนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์พิกส์เซ็นเตอร์
ห้ามคัดลอก ยกเว้นได้รับอนุญาต

บรรณาธิการ กวียา เนาวประทีป

ปก/รูปเล่ม ฝ่ายศิลปกรรม สำนักพิมพ์พิกส์เซ็นเตอร์

จัดทำโดย

พจก. สำนักพิมพ์พิกส์เซ็นเตอร์

เลขที่ 45 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 40 ถนนจรัญสนิทวงศ์

แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700

โทรศัพท์ : 0-2433-7755-7 โทรสาร : 0-2433-7703

จัดจำหน่ายในรูปแบบสิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โดย

บริษัท เกรท มีเดีย เอเจนซี จำกัด

85 ซอยบรมราชชนนี 75 แขวงบางระมาด เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทร. 0-2433-7755-7, 086-330-6425

คำนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เป้าหมายของการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 นั้นมุ่งให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และแก้ปัญหาที่หลากหลายให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลายและเหมาะสมกับระดับชั้น

วิชาฟิสิกส์ก็เป็นแขนงหนึ่งของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้เขียนจึงได้จัดทำหนังสือ **เทคนิคการเรียนรู้ฟิสิกส์ : ไฟฟ้าแม่เหล็ก** เล่มนี้ขึ้นมา เพื่อให้ผู้เรียนรู้จักเทคนิคในการเรียนฟิสิกส์ให้เก่งได้ด้วยตนเอง ด้วยการนำไปอ่านและฝึกทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบที่มีอยู่อย่างหลากหลาย เฉพาะเรื่องที่ตนสนใจหรือที่ยังไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น และยังสามารถนำไปใช้เสริมกับการเรียนกวดวิชาตามสถาบันต่างๆ อีกทั้งครู-อาจารย์ผู้สอนก็สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ด้วย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน ครู-อาจารย์ผู้สอนได้ตามสมควร หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดผู้เขียนต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ด้วยความปรารถนาดี
กวิยา เนาวประทีป
kawiya@physicscenter.com

คำนำสำนักพิมพ์

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การเรียนการสอนในปัจจุบัน กระทรวงศึกษาธิการ ได้ประกาศใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่มีความเหมาะสมชัดเจนทั้งเป้าหมายของหลักสูตรในการมุ่งพัฒนาคุณภาพของผู้เรียนทุกคน ซึ่งเป็นกำลังของชาติ โดยได้มีการกำหนดมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดในรายวิชาไว้อย่างชัดเจน เหมาะสำหรับการเรียนการสอนในแต่ละระดับชั้น

สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการเรียนการสอนในกลุ่ม **สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์** เพราะมีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่างๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือเครื่องใช้และผลผลิตต่างๆ ที่มนุษย์ได้ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงานเหล่านี้ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่นๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจัย มีทักษะสำคัญในการค้นหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพที่ตรวจสอบได้ วิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ (K knowledge-based society) ดังนั้นทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะมีความรู้ ความเข้าใจในธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผลสร้างสรรค์ และมีคุณธรรม สำนักพิมพ์ฯ จึงได้จัดทำหนังสือ **เทคนิคการเรียนรู้ฟิสิกส์** เฉพาะเรื่องขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนที่ยังไม่เข้าใจหลักฟิสิกส์บางเรื่องได้เลือกนำไปใช้ศึกษาด้วยตนเองให้เข้าใจได้อย่างถ่องแท้ เพราะมีการสรุปหลักในแต่ละเรื่อง มีแบบฝึกหัดและแบบทดสอบที่หลากหลายไว้ให้ลองทำพร้อมมีเฉลยแยกเล่มไว้ให้ตรวจสอบความถูกต้องได้ด้วยตนเอง

สำนักพิมพ์ฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้คงจะอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เรียน ครู-อาจารย์ผู้สอน และผู้ที่สนใจในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ได้เป็นอย่างดี

ฝ่ายวิชาการ
สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

สารบัญ

ความรู้เบื้องต้นทางฟิสิกส์	7
1. คุณสมบัติของแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก	13
2. สนามแม่เหล็ก	16
2.1 สนามแม่เหล็กจากกระแสไหลในลวดตรงยาว	16
2.2 สนามแม่เหล็กจากกระแสไหลในลวดวงกลม	17
2.3 สนามแม่เหล็กจากกระแสไหลในลวดโซลินอยด์	17
3. แรงจากสนามแม่เหล็ก	25
3.1 แรงจากกระแสไฟฟ้าตัดสนามแม่เหล็ก	25
3.2 แรงระหว่างลวดคู่ขนานที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน	25
3.3 แรงที่เกิดกับประจุไฟฟ้าวิ่งในสนามแม่เหล็ก	26
4. แรงและโมเมนต์ที่เกิดกับโครงลวดในสนามแม่เหล็ก	42
5. กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก	46
6. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก	55
6.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก	55
6.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่ของเส้นลวดตัดสนามแม่เหล็ก	55
6.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการหมุนโครงลวดตัดสนามแม่เหล็ก	55
สรุปสาระสำคัญ เรื่อง ไฟฟ้าแม่เหล็ก	68
แบบทดสอบไฟฟ้าแม่เหล็ก	71

ความรู้เบื้องต้นทางฟิสิกส์

1. คำอุปสรรคที่ใช้แทนตัวพหุคูณ

เมื่อปริมาณในหน่วยหลักมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ควรเปลี่ยนเป็นตัวเลขคูณด้วยสิบ ยกกำลังลบ หรือบวก เช่น 0.005 เมตร เปลี่ยนเป็น 5×10^{-3} เมตร และใช้คำอุปสรรคเขียนไว้ข้างหน้าหน่วยหลักเป็น 5 มิลลิเมตร หรือ 5 mm คำอุปสรรคที่ใช้แทนตัวพหุคูณมีดังนี้

ตัวพหุคูณ	คำอุปสรรคใช้แทนตัวพหุคูณ	
	ชื่อ	สัญลักษณ์
10^{12}	เทอร่า (tera)	T
10^9	จิกะ (giga)	G
10^6	เมกะ (mega)	M
10^3	กิโล (kilo)	k
10^2	เฮกโต (hecto)	h
10	เดคะ (deca)	da
10^{-1}	เดซี (deci)	d
10^{-2}	เซนติ (centi)	c
10^{-3}	มิลลิ (milli)	m
10^{-6}	ไมโคร (micro)	μ
10^{-9}	นาโน (nano)	n
10^{-12}	พิโก (pico)	p
10^{-15}	เฟมโต (femto)	f
10^{-18}	อัตโต (atto)	a

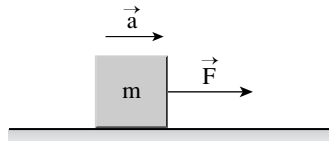
ตัวอย่างเช่น $6 \times 10^6 \text{ V} = 6 \text{ MV}$ (เมกะโวลต์)
 $3 \times 10^{-3} \text{ A} = 3 \text{ mA}$ (มิลลิแอมแปร์)
 $5 \times 10^3 \text{ W} = 5 \text{ kW}$ (กิโลวัตต์)

2. ปริมาณทางฟิสิกส์

ปริมาณทางฟิสิกส์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **ปริมาณสเกลาร์** คือ ปริมาณที่มีแต่ขนาด เช่น เวลา มวล อุณหภูมิ เป็นต้น การบวกลบปริมาณสเกลาร์สามารถทำได้โดยนำขนาดมาบวก-ลบกันโดยตรง การเขียนสัญลักษณ์แทนปริมาณสเกลาร์สามารถเขียนแทนได้ด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ เช่น t, m, T เป็นต้น

2. **ปริมาณเวกเตอร์** คือ ปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง เช่น แรง ความเร็ว ความเร่ง เป็นต้น การบวก-ลบปริมาณเวกเตอร์จะต้องคำนึงถึงทั้งขนาดและทิศทาง การเขียนสัญลักษณ์แทนปริมาณเวกเตอร์สามารถทำได้โดยเขียนลูกศรกำกับเหนือตัวอักษร เช่น $\vec{F}, \vec{v}, \vec{a}$ เป็นต้น และใช้ลูกศรแทนขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

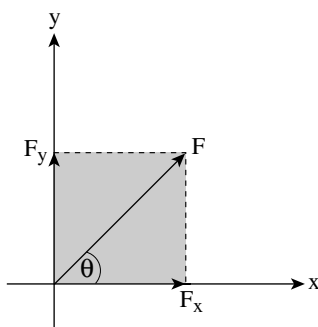


หมายเหตุ เราใช้สัญลักษณ์ $\vec{F}, \vec{v}, \vec{a}$ แทนในการระบุทั้งขนาดและทิศทางของปริมาณเวกเตอร์ ถ้าต้องการจะกล่าวถึงขนาดของปริมาณดังกล่าวจะใช้สัญลักษณ์ F, v, a แทน

3. การแตกเวกเตอร์

ถ้าเรามีเวกเตอร์หนึ่งเวกเตอร์ เราสามารถแยกเวกเตอร์นั้นออกเป็น 2 เวกเตอร์ที่มีทิศตั้งฉากกันได้ โดยอาศัยหลักการดังนี้

กำหนดให้เวกเตอร์ของแรง F กระทำกับแกน x เป็นมุม θ ต้องการหาขนาดของแรง F ในแกน x และแกน y



จากรูป $\frac{F_x}{F} = \cos \theta$

$$F_x = F \cos \theta$$

และ $\frac{F_y}{F} = \sin \theta$

$$F_y = F \sin \theta$$

สรุปขั้นตอนการแตกเวกเตอร์ออกเป็นเวกเตอร์ 2 ตัวที่ตั้งฉากกันได้ดังนี้

1. ให้นักเรียนหามุมที่เวกเตอร์กระทำกับแกนใดแกนหนึ่งเสียก่อน
2. แยกเวกเตอร์ให้อยู่ในแกนที่ทราบมุมจะได้ $F \cos \theta$ และอีกแกนหนึ่งจะได้ $F \sin \theta$

ค่าฟังก์ชันตรีโกณของมุมที่ควรทราบ

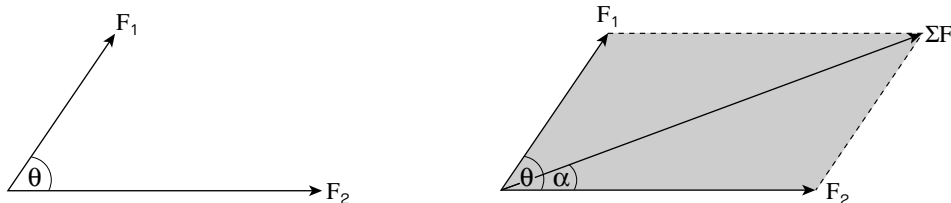
ฟังก์ชันตรีโกณ \ มุม	0°	30°	37°	45°	53°	60°	90°
sin	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{1}{2}$	0
tan	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{3}{4}$	1	$\frac{4}{3}$	$\sqrt{3}$	∞

4. การรวมเวกเตอร์

การรวมเวกเตอร์แยกพิจารณาได้เป็น 2 แบบ คือ

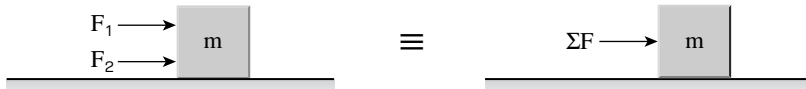
(1) การรวมเวกเตอร์ย่อย 2 เวกเตอร์

ถ้ามีเวกเตอร์ของแรงย่อย 2 แรง กระทำกันเป็นมุม θ จะได้เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนานที่เกิดจากแรงย่อยทั้งสอง ดังรูป



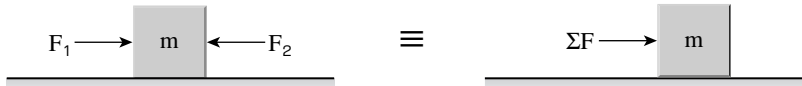
$$\begin{aligned} \text{ขนาดของแรงลัพธ์} \quad \Sigma F &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos \theta} \\ \text{ทิศทางของแรงลัพธ์} \quad \tan \alpha &= \frac{F_1 \sin \theta}{F_2 + F_1 \cos \theta} \end{aligned}$$

♦ ถ้า F_1 มีทิศเดียวกับ F_2 ($\theta = 0^\circ$)



ขนาดของแรงลัพธ์	$\Sigma F = F_1 + F_2$
ทิศทางของแรงลัพธ์	$\tan \alpha = 0$

♦ ถ้า F_1 มีทิศตรงข้ามกับ F_2 ($\theta = 180^\circ$)



ขนาดของแรงลัพธ์	$\Sigma F = F_1 - F_2$
ทิศทางของแรงลัพธ์	$\tan \alpha = 0$

♦ ถ้า F_1 ตั้งฉากกับ F_2 ($\theta = 90^\circ$)



ขนาดของแรงลัพธ์	$\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
ทิศทางของแรงลัพธ์	$\tan \alpha = \frac{F_1}{F_2}$

(2) การรวมเวกเตอร์ย่อยมากกว่า 2 เวกเตอร์

ถ้ามีเวกเตอร์ย่อยมากกว่า 2 เวกเตอร์ เราจะรวมเวกเตอร์ โดยใช้วิธีสี่เหลี่ยมด้านขนานไม่ได้ วิธีที่เหมาะสมและสะดวก ได้แก่ วิธีการแตกเวกเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. ให้ตั้งแกน x และแกน y ที่จุดตัดของแรง
 2. แยกเวกเตอร์ย่อยให้อยู่ในแกน x และแกน y
 3. รวมเวกเตอร์ในแกน x และแกน y จะได้ ΣF_x และ ΣF_y ตามลำดับ
 4. หาขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์จาก $\Sigma F = \sqrt{\Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2}$
- ทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ $\tan \alpha = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$

5. ผลคูณสเกลาร์ (Dot Product)

กำหนดให้ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์
ผลคูณสเกลาร์ของ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ คือ

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta$$

เมื่อ A คือ ขนาดของเวกเตอร์ $\vec{A}$
B คือ ขนาดของเวกเตอร์ $\vec{B}$
 θ คือ มุมระหว่าง $\vec{A}$ และ $\vec{B}$

สมบัติของผลคูณสเกลาร์

1. $\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$
2. $(r\vec{A}) \cdot \vec{B} = r(\vec{A} \cdot \vec{B}) = \vec{A} \cdot (r\vec{B})$
3. $\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$
4. $\vec{A} \cdot \vec{A} = A^2$

6. ผลคูณเวกเตอร์ (Cross Product)

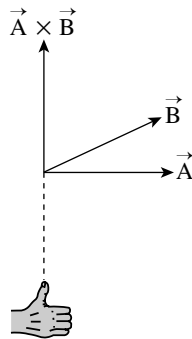
กำหนดให้ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์
ผลคูณเวกเตอร์ของ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ คือ $\vec{A} \times \vec{B}$

$$\text{ขนาดของ } \vec{A} \times \vec{B} = AB \sin \theta$$

ทิศทางของ $\vec{A} \times \vec{B}$ เป็นไปตามกฎมือขวา (Right-hand rule)

เมื่อ A คือ ขนาดของเวกเตอร์ $\vec{A}$
B คือ ขนาดของเวกเตอร์ $\vec{B}$
 θ คือ มุมระหว่าง $\vec{A}$ และ $\vec{B}$

กฎมือขวา (Right-hand rule)

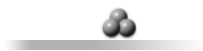


การหาทิศของ $\vec{A} \times \vec{B}$ โดยอาศัยกฎมือขวา มีหลักการดังนี้

1. ให้ปลายนิ้วทั้งสี่แทนทิศของเวกเตอร์ $\vec{A}$
2. กวาดปลายนิ้วทั้งสี่เข้าหาเวกเตอร์ $\vec{B}$
3. ทิศหัวแม่มือจะเป็นทิศของ $\vec{A} \times \vec{B}$

สมบัติของผลคูณเวกเตอร์

1. $\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$
2. $(r\vec{A}) \times \vec{B} = r(\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{A} \times (r\vec{B})$
3. $\vec{A} \times (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \times \vec{B} + \vec{A} \times \vec{C}$



ไฟฟ้าแม่เหล็ก

1. คุณสมบัติของแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก

1. แท่งแม่เหล็กจะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) และที่ขั้วแม่เหล็กนี้จะมีอำนาจแม่เหล็กมาก
2. แท่งแม่เหล็กจะวางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ โดยหันขั้วเหนือของแม่เหล็กไปทางทิศเหนือ และขั้วใต้ของแม่เหล็กไปทางทิศใต้
3. ขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกันจะเกิดการผลักกัน และขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันจะเกิดการดูดกัน
4. เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็ก และพุ่งเข้าสู่ขั้วใต้ของแม่เหล็ก โดยเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกัน
5. เส้นแรงของสนามแม่เหล็กโลกจะพุ่งออกจากขั้วโลกใต้เข้าสู่ขั้วโลกเหนือ โดยเส้นแรงจะมีทิศเกือบขนานกับผิวโลกบริเวณแถบศูนย์สูตร
6. **ฟลักซ์แม่เหล็ก** ใช้สัญลักษณ์ ϕ คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวบบอร์ (W) บริเวณใดมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กผ่านมาก บริเวณนั้นจะมีฟลักซ์แม่เหล็กมาก และบริเวณใดมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กน้อย บริเวณนั้นจะมีฟลักซ์แม่เหล็กน้อย
7. **ความเข้มสนามแม่เหล็ก** ใช้สัญลักษณ์ B เป็นตัวแสดงค่าของสนามแม่เหล็ก มีขนาดเท่ากับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนฟลักซ์แม่เหล็กที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย

$$B = \frac{\phi}{A}$$

โดยที่ B คือความเข้มสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวบบอร์/ตารางเมตร
หรือเทสลา (W/m^2 หรือ Tesla)

ϕ คือฟลักซ์แม่เหล็กหรือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวบบอร์ (W)

A คือพื้นที่ที่ตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

8. **จุดสะเทิน** คือ จุดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก โดยมีความเข้มสนามแม่เหล็กหักล้างกันจนเป็นศูนย์