

การศึกษาสมบัติของแม่เหล็กนีโอไดเมียม

[20 คะแนน]

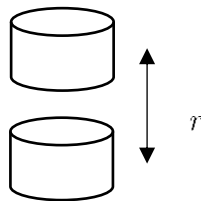
แม่เหล็กชนิดนีโอไดเมียม (Nd) เป็นแม่เหล็กคุณภาพค่อนข้างดี เส้นสนามแม่เหล็กมีความสมมาตรและมีความสม่ำเสมอ จึงเหมาะที่จะนำมาศึกษาเพื่อให้เข้าใจสมบัติของแม่เหล็ก เรื่องหลักที่จะศึกษาคือเรื่องของแรงแม่เหล็ก ซึ่งความเข้าใจโดยทั่วไปที่ว่า แรงแม่เหล็กจะมีขนาดที่น้อยลงเมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กมากขึ้นนั้นเป็นสิ่งที่ถูกต้อง ในที่นี้เราจะทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกับระยะห่างส่วนสมบัติของแม่เหล็กอีกประการหนึ่งที่จะศึกษาคือ เรื่องของ magnetic braking ที่เกิดขึ้นเมื่อก้อนแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านท่อโลหะซึ่งจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทำให้เวลาของการตกมากขึ้น ซึ่งเราสามารถเห็นปรากฏการณ์นี้ได้อย่างชัดเจน เพราะความแรงของแม่เหล็กชนิดนีโอไดเมียม

กำหนดให้ ขนาดความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.78 \text{ m/s}^2$

ตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กสองก้อน

[11.5 คะแนน]

แม่เหล็กทรงกระบอก (แม่เหล็กกระดุม) ตามรูปที่ 1 มีด้านหนึ่งเป็นขั้วเหนือ และ มีด้านหนึ่งเป็นขั้วใต้ จะมีอำนาจแม่เหล็กค่อนข้างสูง



รูปที่ 1 แม่เหล็กทรงกระบอกสองก้อนที่อยู่ในแนวเดียวกัน ห่างกันเป็นระยะ r

มีงานวิจัยที่ได้เสนอว่า ขนาดของแรงแม่เหล็ก F_B ระหว่างแม่เหล็กกระดุมสองก้อนที่อยู่ห่างกันเป็นระยะ r วัดจากกึ่งกลางก้อน นั้นเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$F_B \propto r^n$$

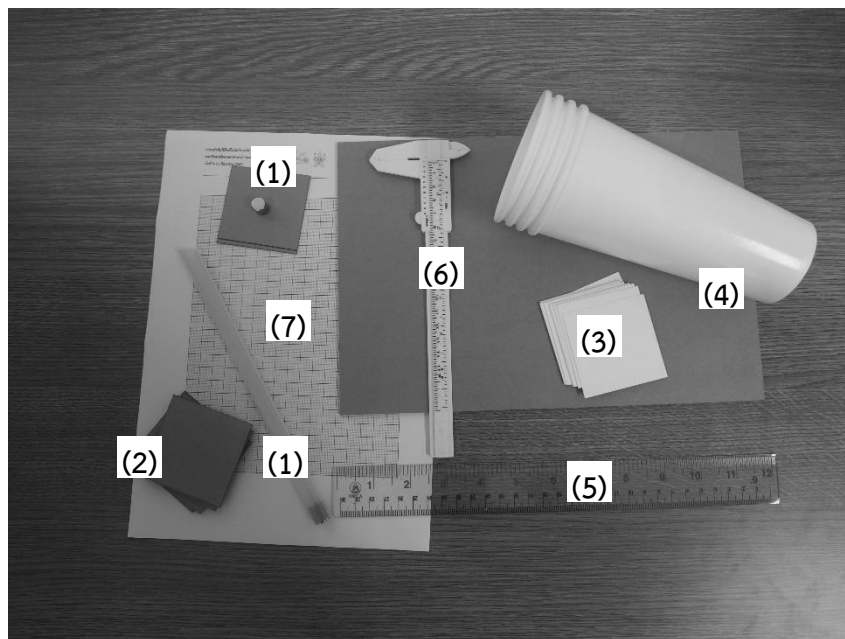
โดยที่ n เป็นค่าคงตัว ซึ่งขึ้นกับรูปร่างของแม่เหล็กและลักษณะการจัดวางแม่เหล็ก

วัตถุประสงค์ของการทดลองตอนที่ 1

ศึกษาว่าแรงแม่เหล็กแบบกระดุมมีความสัมพันธ์กับระยะห่างอย่างไร (หาค่า n ในความสัมพันธ์ $F_B \propto r^n$)

อุปกรณ์ที่ใช้ สำหรับตอนที่ 1

- (1) แม่เหล็กนีโอไดเมียมแบบกระดุมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 ± 0.1 mm หนา 10.0 ± 0.1 mm จำนวน 2 ก้อน ก้อนหนึ่งติดกับแผ่นอะคริลิก (ห้ามแกะแม่เหล็กออกจากแผ่นอะคริลิก) ซึ่งมวลรวมของแม่เหล็กและแผ่นอะคริลิกเท่ากับ 10.9 ± 0.1 g แม่เหล็กอีกก้อนหนึ่งจะติดอยู่ที่ปลายหลอดพลาสติก (ห้ามแกะแม่เหล็กออกจากหลอด)
- (2) แผ่นอะคริลิกขนาด 6×6 cm² (ห้ามแกะกระดาษสีน้ำตาลออกจากแผ่นอะคริลิก) โดย นักเรียนแต่ละคนจะได้รับแผ่นอะคริลิกตามจำนวนและมวลตามที่ระบุไว้ให้
- (3) แผ่นกระดาษ ขนาด 6×6 cm² จำนวน 13 แผ่น โดยที่แต่ละแผ่นหนา 0.21 ± 0.01 mm และแต่ละแผ่นมีมวล 0.57 ± 0.01 g
- (4) แผ่นฐานขนาดใหญ่ 20×30 cm² จำนวน 1 แผ่น พร้อมแก้วกระดาษจำนวน 4 ใบ ที่ใช้เป็นขาตั้ง
- (5) ไม้บรรทัด (6) เวอร์เนีย (7) กระดาษกราฟเชิงเส้น (ถ้าไม่พอ ขอเพิ่มเติม)



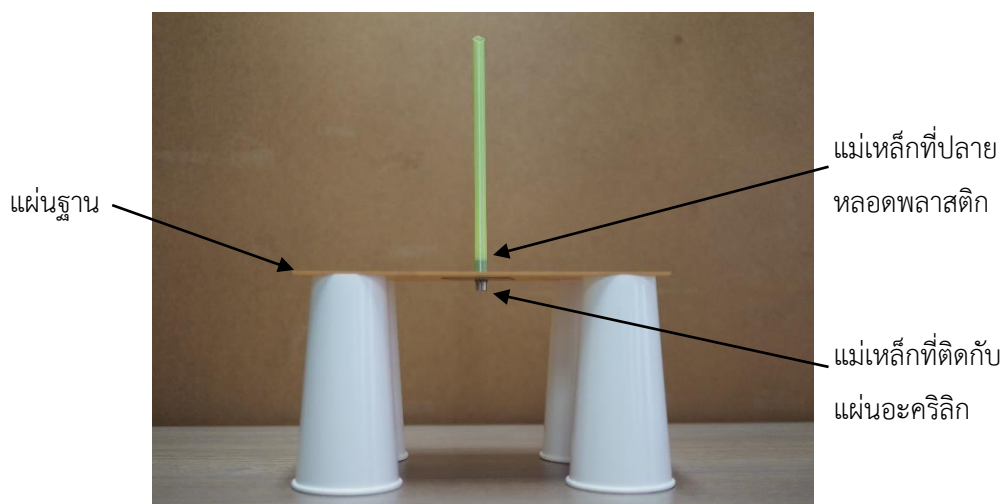
รูปที่ 2 อุปกรณ์สำหรับข้อสอบภาคปฏิบัติ ตอนที่ 1

หมายเหตุ

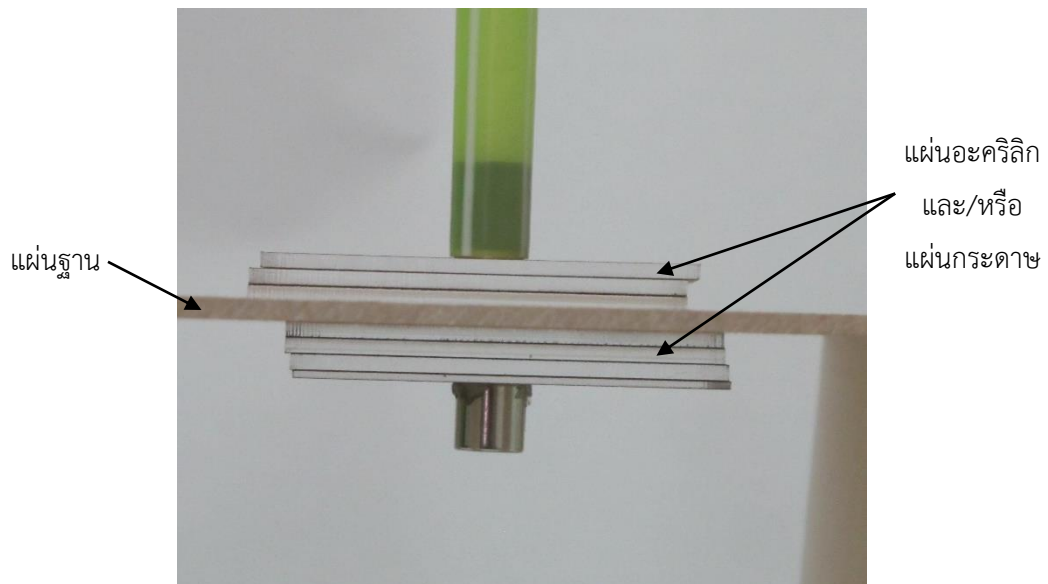
1. ท่ออะลูมิเนียมและเม็ดลูกปัดพลาสติก เป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลองในตอนที่ 2 ห้ามนำมาใช้กับการทดลองในตอนที่ 1
2. แผ่นอะคริลิกและกระดาษที่ใช้ มีสมบัติการเป็นสารแม่เหล็กที่น้อยมาก ไม่ส่งผลต่อแรงแม่เหล็กระหว่างก้อนแม่เหล็กทั้งสอง
3. ควรระวังแม่เหล็กสองก้อนจะมาติดกันโดยตรง อาจจะหนีบนิ้วได้ และการแกะออกจากกันก็ทำได้ยาก
4. ห้ามแกะแม่เหล็กออกจากแผ่นอะคริลิก หรือ จากหลอดพลาสติก ในกรณีที่แม่เหล็กหลุดหรืออุปกรณ์ชำรุด ให้แจ้งกรรมการคุมสอบ

คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์

1. ถ้านำแม่เหล็กทั้งสองก้อนมาไว้คนละด้านของแผ่นฐาน โดยวางแม่เหล็กที่ติดอยู่ที่ปลายหลอดลงบนด้านบนของฐาน และจัดแม่เหล็กอีกก้อนหนึ่งไว้ที่ด้านล่างของฐาน ดังรูปที่ 3 แม่เหล็กสองก้อนควรจะติดกันด้วยแรงที่มากพอที่จะทำให้แม่เหล็กก้อนล่างติดอยู่ได้
2. การเติมแผ่นกระดาษหรือแผ่นอะคริลิกไว้ระหว่างแม่เหล็กทั้งสองก้อน (ดูตัวอย่างในรูปที่ 4) จะสามารถใช้ปรับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กทั้งสอง และใช้เป็นน้ำหนักรองรับทั้งก้อนแม่เหล็กหลุดได้



รูปที่ 3 การจัดวางแผ่นฐานบนแท่นทดลอง และการจัดแม่เหล็กไว้กับแผ่นฐาน



รูปที่ 4 ตัวอย่าง การเติมแผ่นอะคริลิก และ/หรือ แผ่นกระดากไว้ระหว่างแม่เหล็กทั้งสองก้อน

คำสั่ง

- จงออกแบบการทดลองพร้อมเขียนอธิบายวิธีการทดลอง ได้แก่ ระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายวิธีการทดลองคร่าว ๆ
- ทำการทดลองเกี่ยวกับการดูตื้นระหว่างแม่เหล็กทั้งสองก้อนนี้ เพื่อหาค่า n ด้วยการเขียนกราฟเส้นตรง และรายงานค่าคลาดเคลื่อนด้วย

ตอนที่ 2 แรงแม่เหล็กที่ต้านการเคลื่อนที่ (Magnetic Braking)

[8.5 คะแนน]

วิธีหนึ่งในการสาธิตกฎของเลนซ์คือการปล่อยให้แม่เหล็กตกลงในท่ออะลูมิเนียม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การปล่อยก้อนแม่เหล็กให้ตกลงในท่ออะลูมิเนียม

เราจะพบว่าก้อนแม่เหล็กจะตกผ่านท่ออะลูมิเนียม ช้ากว่าการตกของลูกเหล็กขนาดเท่ากันผ่านท่ออะลูมิเนียม หรือช้ากว่าการตกอิสระ ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในท่ออะลูมิเนียมที่ต้านการเคลื่อนที่ของก้อนแม่เหล็ก โดยขนาดแรงต้าน (f) ที่เกิดขึ้นนั้นจะมีขนาดที่แปรผันตามอัตราเร็ว (v) ของการเคลื่อนที่ของก้อนแม่เหล็ก ตามสมการ

$$f = kv$$

โดยที่ k เป็นค่าคงตัว ซึ่งขึ้นกับรูปร่างและขนาดของแม่เหล็ก ขนาดของท่อ ความหนาของท่อ และชนิดของท่อ

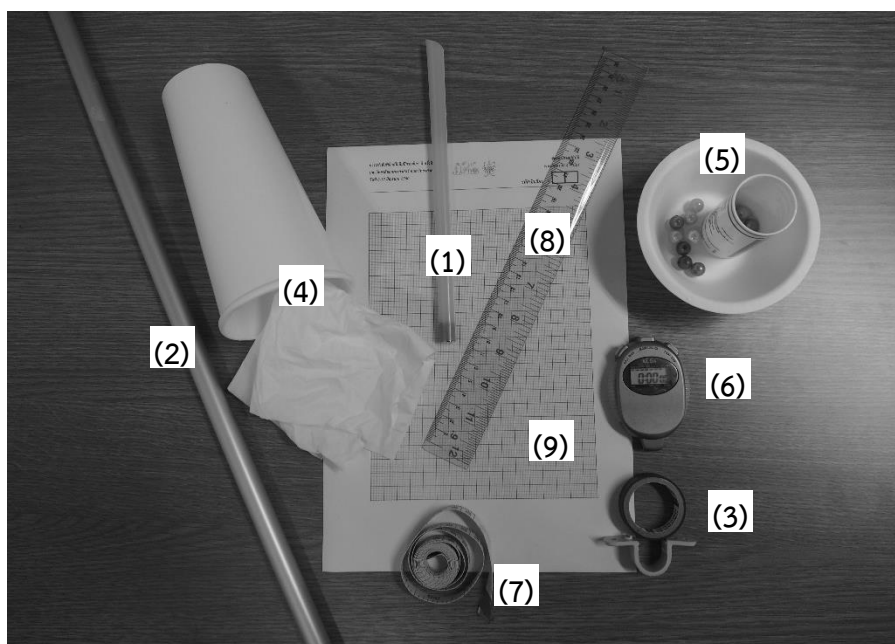
แรงต้านจากกฎของเลนซ์นี้ทำให้แม่เหล็กเคลื่อนที่ช้ากว่าการตกอิสระ และมักจะเรียกว่าการเบรกด้วยแม่เหล็ก (magnetic braking) นอกจากนี้แท่งแม่เหล็กจะเข้าสู่อัตราเร็วสุดท้าย (terminal speed) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ พบว่าแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าสู่อัตราเร็วสุดท้าย ในระยะทางที่สั้นมาก เมื่อเทียบกับความยาวท่ออะลูมิเนียม จนประมาณได้ว่า แม่เหล็กเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสุดท้ายตั้งแต่ถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ในท่ออะลูมิเนียม

วัตถุประสงค์ของการทดลองตอนที่ 2

หาค่าคงตัวของการแปรผันในแรงต้านที่เกิดจากกฎของเลนซ์ (หาค่า k ในความสัมพันธ์ $f = kv$)

อุปกรณ์ที่ใช้ สำหรับตอนที่ 2

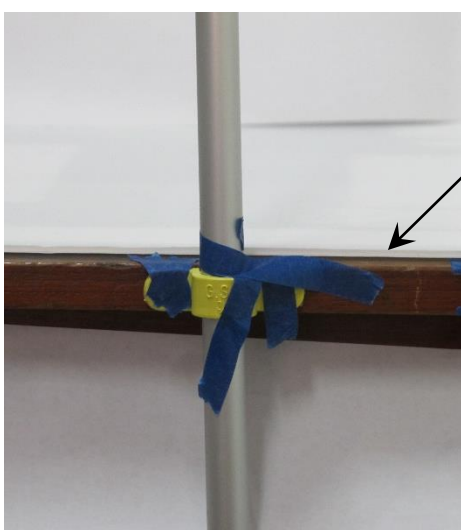
- (1) แม่เหล็กนีโอไดเมียมแบบกระดุมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 ± 0.1 mm หนา 10.0 ± 0.1 mm จำนวน 1 ก้อนที่ถูกยึดไว้ที่ปลายหลอดพลาสติก โดยก้อนแม่เหล็กและหลอดมีมวลรวม 7.60 ± 0.05 g (แม่เหล็กที่ติดที่ปลายหลอดนี้เป็นแม่เหล็กอันเดียวกับที่ทำการทดลองตอนที่ 1 ห้ามแกะแม่เหล็กออกจากหลอด)
- (2) ท่ออะลูมิเนียม จำนวน 1 ท่อ
- (3) อุปกรณ์สำหรับยึดท่ออะลูมิเนียมไว้กับโต๊ะ ประกอบด้วย พลาสติกรัดท่อ และ เทปกา
- (4) แก้วกระดาษและกระดาษทิชชู สำหรับรองรับหลอดที่หลุดออกจากปลายท่อด้านล่าง (ถ้วยกระดาษใบเดียวกับตอนที่ 1)
- (5) เม็ดลูกปัดพลาสติก แต่ละเม็ดมีมวล 0.47 ± 0.02 g จำนวน 25 เม็ด พร้อมถ้วยกระดาษ (ถ้านักเรียนทำลูกปัดตกลงพื้นแล้วกลิ้งไปไกล ไม่ต้องตามไปเก็บเอง ให้บอกกรรมการคุมสอบเพื่อขอลูกปัดใหม่)
- (6) นาฬิกาจับเวลา (7) สายวัด (8) ไม้บรรทัด (9) กระดาษกราฟเชิงเส้น (ถ้าไม่พอ ขอเพิ่มได้)



รูปที่ 6 อุปกรณ์สำหรับข้อสอบภาคปฏิบัติ ตอนที่ 2

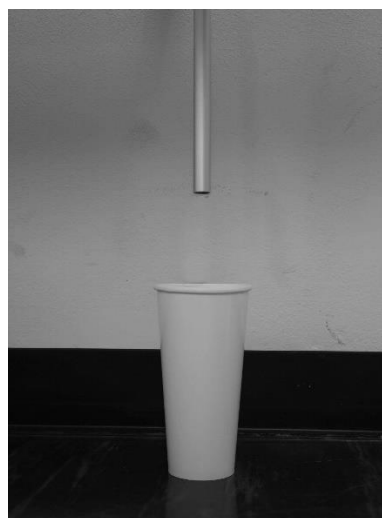
คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์

1. ท่ออะลูมิเนียมสามารถยึดไว้กับโต๊ะ ดังรูปที่ 7 (ก) ระวัง อย่าติดท่ออะลูมิเนียมไว้ใกล้กับมุมโต๊ะ เพราะตัวยึดผ้ากันโต๊ะเป็นเหล็ก จะส่งผลต่อการตกของก้อนแม่เหล็กในท่อได้
2. ควรระวังไม่ให้แม่เหล็กที่หลุดจากท่ออะลูมิเนียมตกกระแทกพื้น เพราะแม่เหล็กอาจจะหลุดออกจากหลอดพลาสติกหรือแตกได้ เราสามารถป้องกันได้โดยนำแก้วกระดาษที่ใส่กระดาษทิชชูมารองไว้ที่ด้านล่างของท่อ ดังรูปที่ 7 (ข)



ขอบโต๊ะ

รูปที่ 7 (ก) การยึดท่ออะลูมิเนียมไว้กับขอบโต๊ะ



รูปที่ 7 (ข) ใช้แก้วกระดาษที่ใส่กระดาษทิชชูไว้ด้านล่าง เพื่อรองรับแม่เหล็กที่ตกลงมา

คำสั่ง

- จงออกแบบการทดลองพร้อมเขียนอธิบายวิธีการทดลอง ได้แก่ ระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายวิธีการทดลองคร่าว ๆ
- ทำการทดลองการตกของก้อนแม่เหล็กผ่านท่ออะลูมิเนียม เพื่อหาค่า k ด้วยการเขียนกราฟเส้นตรง และรายงานค่าคลาดเคลื่อนด้วย

