실험 문제 2

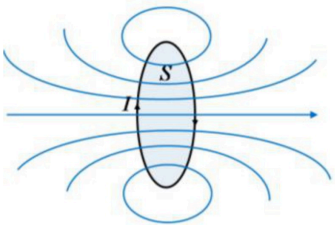
실험 문제는 두 개이다. 책상 위의 장치는 두 문제에 함께 쓴다. 전체 과제(1&2)를 마치는 데 5시간이 주어진다.

실험 문제 2: 자석 사이의 힘, 안정성과 대칭성의 개념

들어가며

넓이 S인 고리를 따라 도는 전류 I는 크기가 $m = IS$인 자기 모멘트를 만든다[그림 1(a) 참조]. 영구 자석은 철(Fe)의 작은 자기 모멘트들의 모임으로 생각할 수 있으며, 그 하나하나는 전류 고리의 자기 모멘트와 비슷하다. 자석의 이 (앙페르) 모형을 그림 1(b)에 나타냈다. 전체 자기 모멘트는 작은 자기 모멘트들을 모두 더한 것이며, 남극에서 북극 쪽을 향한다.

(a)



(b)

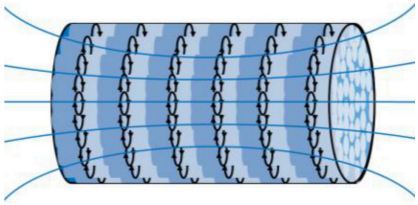


그림 1. (a) 전류 고리와 그것이 만드는 자기장. (b) 작은 전류 고리들의 모임으로 본 자석의 앙페르 모형.

자석 사이의 힘

두 자석 사이의 힘을 계산하는 것은 만만치 않은 이론 과제이다. 두 자석의 같은 극끼리는 밀어내고 다른 극끼리는 끌어당긴다는 것은 알려져 있다. 두 전류 고리 사이의 힘은 그 안의 전류의 세기, 고리의 모양, 서로 사이의 거리에 달려 있다. 한 고리의 전류를 거꾸로 하면 둘 사이의 힘은 크기는 같고 방향은 반대가 된다.

이 문제에서는 두 자석, 곧 고리 자석과 막대 자석 사이의 힘을 실험으로 조사한다. 우리는 두 자석의 대칭축이 일치하는 배치에 관심이 있다(그림 2 참조). 막대 자석은 z축을 따라 왼쪽에서 고리 자석을 지나 오른쪽으로 움직일 수 있다(그림 2 참조). 여러 과제 가운데 하나로, 자석 사이의 힘을 z의 함수로 재게 된다. 원점 $z = 0$은 두 자석의 중심이 일치하는 경우에 해당한다.

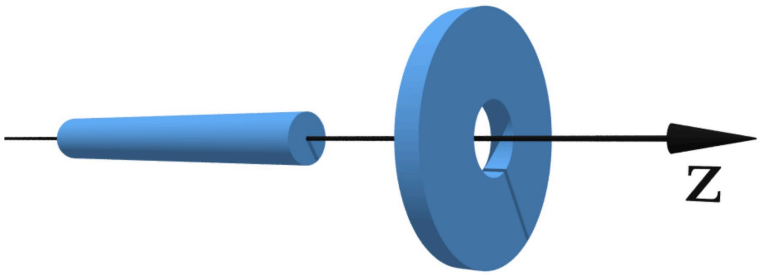


그림 2. 막대 자석과 고리 자석이 일직선으로 놓여 있다. 막대 자석이 z축을 따라 움직이면 둘 사이의 힘이 바뀐다.

막대 자석이 대칭축(z축)을 따라 움직이도록 고리 자석은 투명한 원통 안에 단단히 박혀 있고, 원통에는 z축을 따라 좁은 구멍이 뚫려 있다. 따라서 막대 자석은 구멍을 통해 z축을 따라서만 움직일 수 있다(그림 3 참조). 두 자석의 자화 방향은 z축을 따른다. 구멍 덕분에 자석들은 지름 방향으로 안정하다.



그림 3. 두 자석과 속이 빈 투명 원통의 사진. 막대 자석은 원통의 구멍을 지나 움직인다.

실험 장치 (문제 2)

책상 위에는 (문제 2에 쓸) 다음 물품이 있다.

1. 누르개(돌 블록 포함). 필요하면 별도의 안내문을 보라.
2. 저울(5000 g까지 잴 수 있으며 TARA(영점) 기능이 있다. 필요하면 별도의 안내문을 보라).
3. 옆면에 고리 자석이 박힌, 속이 빈 투명 원통.
4. 막대 자석 하나.
5. 가는 나무 막대 하나(막대 자석을 원통 밖으로 밀어내는 데 쓸 수 있다).

자석 사이의 힘을 재려면 장치를 그림 4처럼 쓴다. 누르개의 윗판은 첫 번째 실험 문제 때와 비교해 위아래를 뒤집어야 한다. 가는 알루미늄 막대로 막대 자석을 속이 빈 원통 속으로 밀어 넣는다. 저울은 힘(질량)을 잰다. 누르개의 윗판은 나비 너트로 아래위로 움직일 수 있다. **중요: 나비 너트를 360도 돌리면 2 mm 움직인다.**

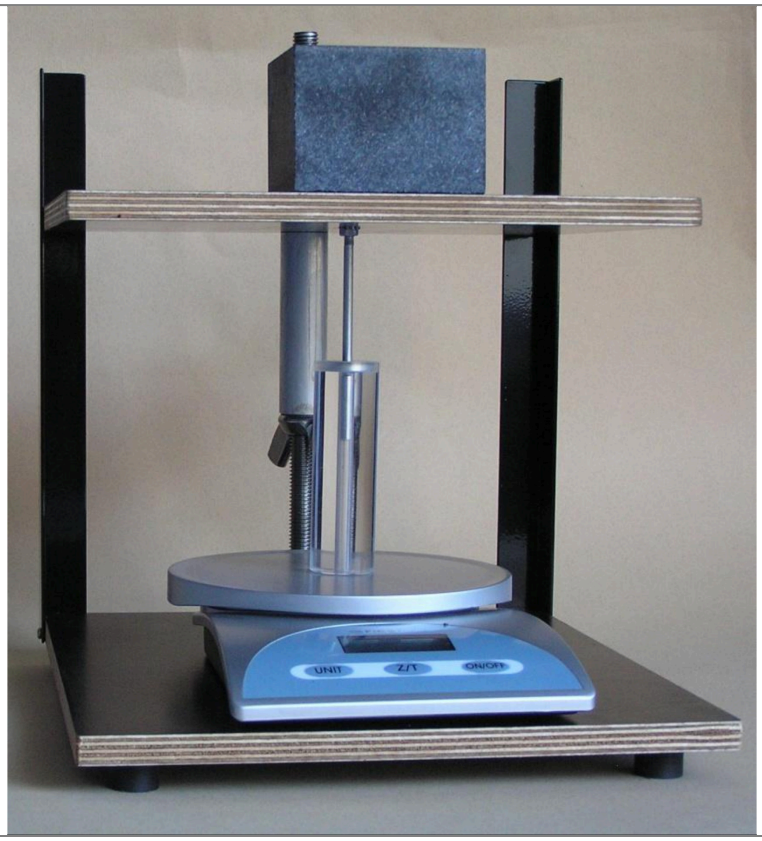


그림 4. 장치의 사진과, 자석 사이의 힘을 잴 때 장치를 쓰는 방법.

과제

1. z축이 그림 2처럼 수평으로 놓여 있다고 할 때, 두 자석 사이의 평형 위치를 모두 정성적으로 알아내어 답안지에 그리시오. 각 평형 위치에 안정(S)/불안정(U)을 표시하고, 답안지에 한 안정 위치에 대해 보인 것처럼 같은 극을 빗금으로 나타내시오. 이 과제는 손과 나무 막대를 써서 해도 된다. *(2.5점)*
2. 실험 장치를 써서 두 자석 사이의 힘을 z좌표의 함수로 재시오. z축의 양의 방향은 투명 원통 안쪽을 향한다고 하자(힘이 양의 방향을 향하면 양이다). 자기 모멘트가 평행인 배치에서의 자기력을 $F_{\uparrow\uparrow}(z)$, 반평행인 배치에서의 자기력을 $F_{\uparrow\downarrow}(z)$로 나타내시오. **중요: 막대 자석의 질량은 무시하고(곧 중력을 무시하고), 자석 사이 힘의 대칭성을 이용해 곡선의 서로 다른 부분을 재시오.** 힘에서 어떤 대칭성을 찾았다면 답안지에 적으시오. 측정값은 답안지에 적으시오. 각 표 옆에는 그 표에 해당하는 자석 배치를 개략적으로 그리시오(예가 주어져 있다). *(3.0점)*
3. 과제 2의 측정값을 써서, $z > 0$에 대한 함수 관계 $F_{\uparrow\uparrow}(z)$를 모눈종이에 자세히 그리시오. 곡선 $F_{\uparrow\uparrow}(z)$와 $F_{\uparrow\downarrow}(z)$의 모양을 ($z$축의 양과 음의 방향 모두에 대해) 개략적으로 그리시오. 각 개략 그래프에

안정 평형점의 위치를 표시하고, (과제 1에서처럼) 그에 해당하는 자석 배치를 그리시오. *(4.0점)*

4. 막대 자석의 질량을 무시하지 않는다면, z축을 연직으로 놓았을 때 정성적으로 새로운 안정 평형 위치가 생기는가? 그렇다면 과제 1에서처럼 답안지에 그리시오. *(0.5점)*