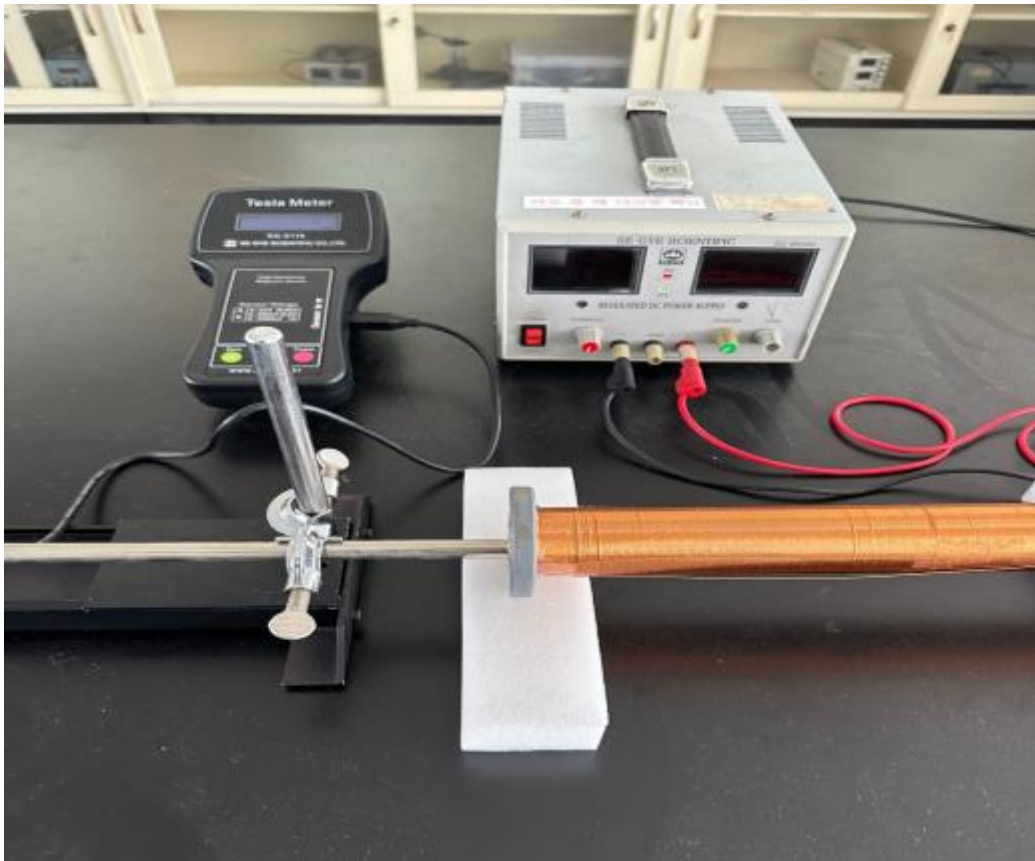


일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

5. 앙페르의 법칙



일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

실험 목표

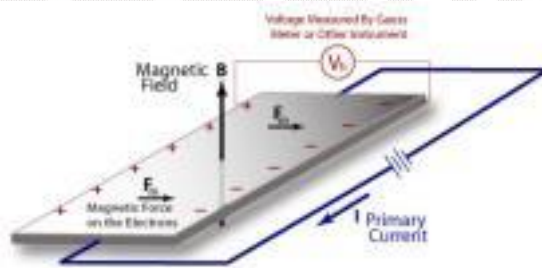
원형도선, 직선도선, 그리고 솔레노이드 코일에 전류가 흐를 때 생성되는 자기장을 이해하고, 이론값과 실험값 사이의 오차를 구해낸다.

기본 이론

(1) 홀 이펙트 센서

홀 이펙트 센서(Hall-effect sensor)는 자기장을 검출하는 센서 중 가장 잘 알려진 기구로, 전위차가 자기장의 세기에 비례하는 성질을 이용한다. 홀 효과(Hall-effect)에 의해, 홀 이펙트 소자인 반도체의 전극에 전류를 흐르게 만든 후, 전류의 방향에 수직인 방향으로 자기장을 인가하면, 전위차가 발생한다. 이를 홀 전압(Hall voltage) V_H 이라 한다. 홀 전압 V_H 의 크기는 인가한 전류의 세기 I 와 자기장의 세기 B 에 비례한다.

$$V_H = kIB \quad (k \text{는 비례상수})$$

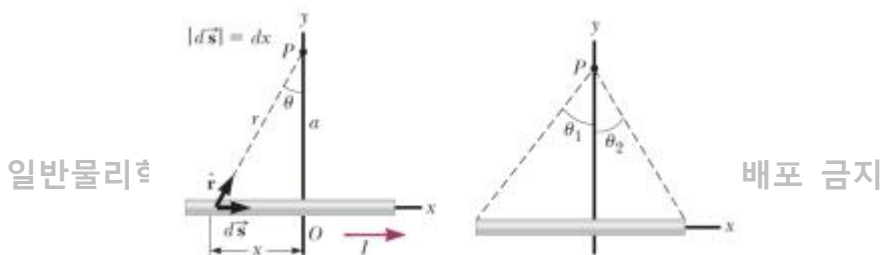


일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

만약 홀 센서에 공급하는 전류의 세기 I 를 일정하게 한다면, 홀 전압의 세기는 외부 자기장에 어느 정도 비례할 것이다. 이러한 원리는 자기장 측정 기구인 **테슬라 미터(Tesla meter)**에서 적용되며 이 실험 기구에서 사용하는 테슬라 미터의 사양은 측정 범위(range) 0~2mT / 0~20mT / 0~200mT, (측정범위가 작을수록 정밀도 증가), 각 범위별 정확도(accuracy) $\pm 5\%$, 홀 센서의 반도체 물질 종류는 GaAs를 사용한다. 테슬라 미터의 측정 프로브(probe) 종류는 직선 도선의 자기장 측정 시 사용하는 **접선방향 프로브**와 원형 도선 및 솔레노이드에 의한 자기장 측정 시 사용하는 **축방향 프로브**가 있다.

(2) 직선 도선에서의 자기장

유한한 직선 도선에 일정한 전류 I 가 흐를 때 이 전류에 의한 임의의 점 P에서의 자기장의 크기를 비오-사바르 법칙을 이용하여 구하자. (일반 물리학 교재 참고)



일반물리학

배포 금지

$$B = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\sin\theta_1 - \sin\theta_2) \quad \text{[유한한 직선 도선에서의 자기장-전류 관계식]}$$

만약 도선의 길이가 $x = -\infty$ 에서 $x = +\infty$ 인 무한한 도선이라면 $\theta_1 \rightarrow \frac{\pi}{2}$, $\theta_2 \rightarrow \frac{\pi}{2}$ 이므로

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad \text{[무한한 직선 도선에서의 자기장-전류 관계식]}$$

가 된다.

이 결과식은 앙페르 법칙에 의해서도 매우 간단하게 구할 수 있는데, 직선도선에 전류 I 가 흐를 때, 도선 주위에 생기는 자기장 B 는 반지름이 r 인 원형 경로를 가정했을 때

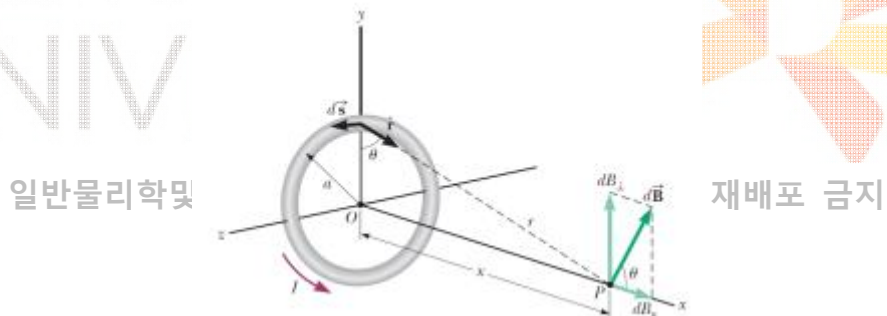
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

로 주어지며, 도선으로부터 거리 r 인 지점에서의 자기장은 위 식에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \text{[무한한 직선 도선에서의 자기장-전류 관계식]}$$

(3) 원형 도선에서의 자기장

반지름이 R 인 원형도선에 전류 I 가 흐를 때, 중심축의 임의의 점 P에서 자기장의 세기를 계산해보자. (일반 물리학 교재 참고)



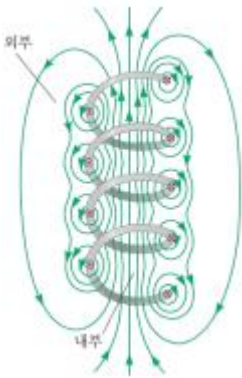
따라서 $B(x) = \frac{\mu_0 a^2}{2(a^2 + x^2)^{3/2}} I$ 이고, 고리 중심인 지점 $x = 0$ 에서 $B = \frac{\mu_0 I}{2a}$ 가 된다.

[원형 도선에서의 자기장-전류 관계식]

(4) 솔레노이드 코일에서의 자기장

솔레노이드(solenoid)는 나선형으로 감은 긴 도선이다. 코일 형태로 도선을 연속적으로 감으면, 솔레노이드에 전류가 흐를 때 솔레노이드 내부 영역에 비교적 일정한 자기장을 만들 수 있다. 도선이 촘촘하게 감겨 있고 그 길이가 단면의 반지름에 비하여 길면 길수록 이상적인 솔레노이드에 가까워진다.

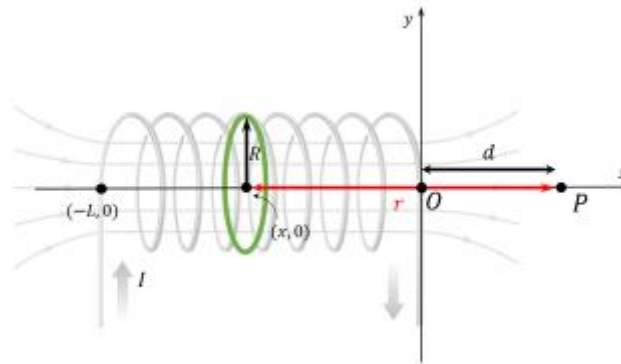
솔레노이드는 한 바퀴씩 감은 원형 고리의 연속체로 생각할 수 있고 따라서 알짜 자기장은 모든 원형 도선 고리에 의한 자기장의 벡터합이라고 볼 수 있다. 직사각형 모양의 닫힌 경로를 상정하여 앙페르 법칙을 적용하면(교과서 참고) 솔레노이드 내부에서의 자기장-전류 관계식은 다음과 같다.



$$B = \mu_0 n I \quad (\text{단위 길이당 감은 수 } n = \frac{N}{l}) \quad [\text{무한한 솔레노이드 내부에서의 자기장-전류 관계식}]$$

이 공식에서 주목할 점은 내부의 자기장 세기는 코일의 반경이나 코일 내부의 위치에 무관함을 알 수 있다. 그러나 실제 솔레노이드의 길이는 유한하고 내부의 자기장도 균일하기 어려우므로 보정을 해주어야 한다.

반지름이 R 인 솔레노이드 중심축 위에 놓인 임의의 점 P 에서 자기장의 세기를 구해보자. (일반 물리학 교재 참고)



$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left(\frac{d+L}{\sqrt{R^2 + (d+L)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right)$$

솔레노이드의 중심 지점에서의 자기장 세기는 $d = -\frac{L}{2}$ 일 때와 같으므로

$$B_{d=-\frac{L}{2}} = \mu_0 n I \left(\frac{L}{\sqrt{4R^2 + L^2}} \right) \quad [\text{유한한 솔레노이드 중심 지점에서의 자기장-전류 보정 관계식}]$$

만약 솔레노이드의 길이가 $x = -\infty$ 에서 $x = +\infty$ 로 무한하다면 $L \rightarrow \infty$ 이므로

$$B_{L \rightarrow \infty} = \mu_0 n I \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{4R^2}{L^2} + 1}} \right) \rightarrow \mu_0 n I \quad [\text{무한한 솔레노이드 내부에서의 자기장-전류 관계식}]$$

솔레노이드의 한 끝점에서의 자기장 세기는 $d = 0$ (또는 $d = -L$) 일 때와 같으므로

$$B_{d=0} = \frac{\mu_0 n I}{2} \left(\frac{L}{\sqrt{R^2 + L^2}} \right) \quad [\text{유한한 솔레노이드 끝점에서의 자기장-전류 보정 관계식}]$$

실험 방법

- 주의사항 -

- 1) 각 도선에는 수 A의 고전류가 흐르므로 감전 및 열 발생에 의한 화상을 입지 않도록 **신체 접촉을 절대 금한다.**
- 2) 테슬라 미터 사용 전에는 반드시 영점조정 과정을 거친 후 사용하도록 한다.
- 3) **1A 이상의 전류를 솔레노이드 코일에 흘리지 마십시오.**

- 솔레노이드 코일에서의 자기장 -

- 1) 솔레노이드 코일의 규격을 측정한다.
- 2) 그림과 같이 설치하고 정년 공급기와 연결한다.
- 3) 축 방향 probe를 테슬라미터에 연결하고 이동 트랙에 장착한다.
- 4) 측정할 솔레노이드 코일의 규격을 이용 Probe가 코일 중심에 오게 한다.
 - 테슬라 미터의 전원을 켜고 range 조정 스위치를 눌러 최소단위에 오게 하고 영점을 잡는다. 영점 보정은 영점 보정 버튼을 가능하면 오래 누를수록 0점 보정이 오래도록 유지된다.
- 5) 이제 전원공급기의 전원을 키고 전류를 변경하면서 자기장을 측정한다.
- 6) 5회 이상 측정하여 기록하고 측정 후 평균 값을 식 (3)로부터 얻어진 이론적 자기장 값과 비교한다.