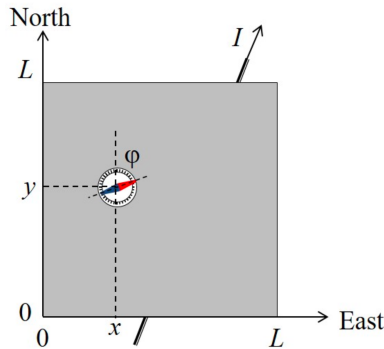


숨겨진 도선

매우 긴 구리 도선이 한 번의 길이가 $L = 100.0 \text{ mm}$ 인 수평 정사각형 표면 아래, 알 수 없는 깊이 h 에서 수평으로 놓여 있다. 정사각형의 변은 그림과 같이 서-동 (x -축) 및 남-북 (y -축) 방향으로 정렬되어 있다. 좌표계의 원점은 정사각형의 남서쪽 꼭짓점과 일치한다.



이 도선은 (그림에는 나타나 있지 않은) 조절 가능한 직류 전원에 연결되어 있으며, -5 A 부터 5 A 까지의 전류 I 를 공급할 수 있다. 전류의 부호를 바꾸는 것은 전원의 극성을 반대로 하는 것에 해당한다. 정사각형의 표면 (둘레까지 포함) 위에는 작은 나침반을 놓을 수 있으며, 나침반 바늘과 북쪽 (y -축) 방향 사이의 편향각 φ 를 통해 도선의 자기장을 감지한다. 그림과 같이 φ 가 양수이면 동쪽 ($+x$ 방향) 으로의 편향을 뜻하고, φ 가 음수이면 서쪽 ($-x$ 방향) 으로의 편향을 뜻한다. 다음을 가정해도 된다:

- 자기 바늘은 점과 같은 자기 쌍극자이며, 수직축을 중심으로 자유롭게 회전할 수 있다. 즉, 나침반은 자기장의 수평 성분에만 민감하다.
- 바늘이 표면 위로 떠 있는 높이는 표면 아래 도선의 깊이에 비해 무시할 수 있다. 즉, 바늘은 xy -평면에 놓여 있다고 본다.

자유공간의 투자율은 다음과 같다.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A.}$$

시뮬레이션 소프트웨어 설명

명령 프로그램은 전류 I 를 입력하고, 표면 위 좌표 x, y 에 나침반을 놓았을 때의 편향각 φ 를 측정하는 과정을 시뮬레이션한다.

프로그램의 한 번의 시뮬레이션 사이클에서의 출력 예시는 다음과 같다.

```
Enter I (A) between -5.0 and 5.0: 3.4
Enter X (mm) between 0 and 100: 55
Enter Y (mm) between 0 and 100: 31
PHI = -33 degrees
-----
Enter I (A) between -5.0 and 5.0: _
```

먼저 -5.0 에서 5.0 사이의 전류 I (단위 A) 를 입력하고, 이어서 0 에서 100 사이의 좌표 x, y (단위 mm) 를 입력한다. 각 입력은 **Enter** 키로 확인된다. 프로그램은 φ (표시에서는 PHI) 의 값을 도 단위로 출력하며 (1° 로 반올림), 초기 입력 프롬프트로 돌아간다.

전류 입력 I 는 0.1 A 단위로 반올림되며, 좌표 입력 x, y 는 시뮬레이션에 사용되기 전에 1 mm 단위로 반올림된다. (더 정밀한 숫자를 입력하려 해도 의미가 없다.)

나침반의 위치를 바꿀 때마다, 시뮬레이션에서 사용되는 실제 위치는 입력한 좌표와 약 0.5 mm 정도의 오차를 가진다. (이는 물체를 놓을 때의 제한된 정밀도를 모사한 것이다.)

프로그램을 종료해야 할 때에는 **Ctrl+C** 를 누르라.

실험을 설계하고 필요한 시뮬레이션을 수행하여 다음 과제들을 해결하라:

1.a 좌표계에 대한 도선의 방향을 $y = ax + b$ 꼴의 방정식으로 제시하여 결정하고, 매개변수 a , b 의 불확도를 추정하라. 그래프에 도선의 위치를 그리고, 양의 전류 I 에 해당하는 방향을 표시하라. 4 pt

1.b 표면 아래 도선의 깊이 h 와 지구 자기장의 수평 성분 B_E 를 결정하라. 이 과제에서는 실험 불확도를 명시적으로 계산할 필요는 없지만, 최종 결과는 적절한 유효숫자 개수로 제시해야 한다. 6 pt