주의: 모든 측정값과 계산값은 알맞은 유효 숫자 개수와 함께 SI 단위로 나타내야 한다. 불확도는 명시적으로 요구할 때에만 쓴다.

1.0 서론

레이저 거리 측정기(LDM)를 이용한 실험

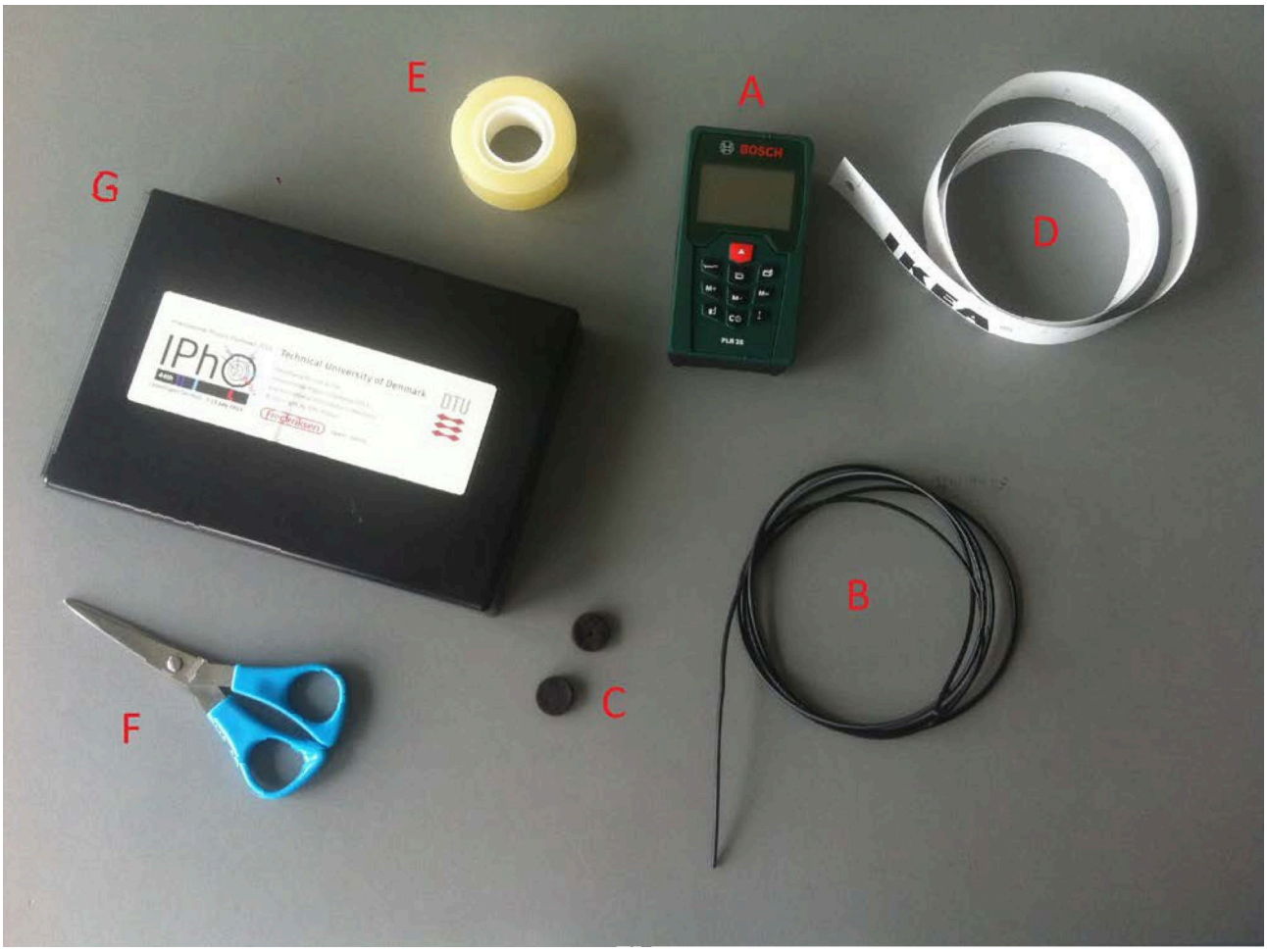


그림 1.1 첫 실험 1.1과 1.2에 쓰는 장비.

A: 레이저 거리 측정기

B: 광섬유 케이블(약 1 m)

C: 구멍이 뚫린 접착식 검은 펠트 패드

D: 줄자

E: 테이프

F: 가위

G: 검은 상자의 뚜껑

레이저 거리 측정기(LDM, 그림 1.2와 그림 1.3 참조)는 송신부와 수신부로 이루어져 있다. 송신부는 변조된 레이저 빛살, 즉 진폭이 매우 높은 진동수로 변하는 레이저 빛살을 내는 다이오드 레이저이다. 레이저 빛살이 물체에 닿으면 레이저 점에서 빛이 모든 방향으로 반사된다. 이 빛의 일부가 송신부 바로 옆에 있는 측정기의 수신부로 돌아온다. 측정기의 망원 광학계는 레이저 점에 초점이 맞춰져 있어 레이저 점에서 돌아온 빛을 받는다. 측정기의 전자 회로는 받은 빛 신

호의 변조가 내보낸 빛 신호에 대해 얼마나 늦었는지 시간 차를 잰다. 변조의 지연 t는 정확히 빛이 송신부에서 수신부까지 가는 데 걸리는 시간이다. 그다음 잰 시간은 다음 값으로 바뀐다.

$$y = \tfrac{1}{2}ct + k$$

이 값 y가 측정기 화면에 나타난다. 여기서 $c = 2.998 \cdot 10^8\ \mathrm{m\,s^{-1}}$은 빛의 속력이다. 상수 k는 측정기 설정에 따라 다르다. 측정기에서는 거리를 측정기 뒤쪽 끝에서 잴지 앞쪽 끝에서 잴지 바꿀 수 있다. 레이저 거리 측정기를 켜면 기본 설정은 뒤쪽에서 재는 것이다. **모든 측정에서 이 설정을 유지해야 한다.**

시차 때문에 LDM은 5 cm보다 짧은 거리는 잴 수 없다. 잴 수 있는 최대 거리는 약 25 m이다. 측정기는 뒷면과 앞면이 모두 레이저 빛살에 수직이 되도록 만들어져 있다. 측정기를 탁자 위에 눕혀 두면 편광은 연직(화면에 수직)이다.

다이오드 레이저는 2등급이며 출력 < 1 mW, 파장 635 nm이다. 제조사가 밝힌 측정 불확도는 ±2 mm이다.

경고: 측정기의 다이오드 레이저는 눈을 다치게 할 수 있다. 레이저 빛살을 들여다보지 말고, 다른 사람의 눈에 비추지 마시오!

LDM의 설정

위의 거리 y 계산은 물론 빛이 속력 c로 움직였다고 가정한다. 이 실험의 정확도 수준에서는 진공과 공기 중 빛의 속력을 구별할 필요가 없다. 정상 압력과 온도에서 건조한 대기 공기의 굴절률은 $1.000\,29 \approx 1.000$이기 때문이다.



그림 1.2 이름표가 없는 단추 여섯 개는 상관없다(넓이와 부피를 계산하는 데 쓴다). 관련된 단추는 다음과 같다.

A: 켜기/끄기
B: 측정기 뒤쪽에서 잴지 앞쪽에서 잴지 바꾸기
C: 뒤쪽/앞쪽에서 재는지 알려 주는 표시
D: 레이저 켜기/측정 시작
E: 연속 측정
F: 연속 측정 표시



그림 1.3 앞쪽 끝에서 본 레이저 거리 측정기:
A: 수신부: 레이저 점에 초점을 맞춘 망원경 렌즈
B: 송신부: 레이저 빛살을 들여다보지 마시오!

1.1 레이저 거리 측정기로 측정하기

단추 **D**(그림 1.2 참조)를 누르면 측정기가 측정을 한다.

1.1	LDM으로 탁자 윗면에서 바닥까지의 거리 H를 측정하시오. 불확도 ΔH를 적으시오. 이 측정을 어떻게 하는지 스케치로 보이시오.	0.4

1.2 광섬유 케이블 실험



그림 1.4 광섬유 케이블의 구조.

길이 약 1 m, 지름 약 2 mm인 광섬유 케이블이 주어졌다. 케이블은 두 가지 광학 물질로 이루어져 있다. 중심핵(지름 약 1 mm)은 굴절률이 높은 플라스틱으로 만들어졌다. 중심핵은 굴절률이 조금 더 낮은 플라스틱으로 만든 클래딩으로 둘러싸여 있고, 그 위를 검은 플라스틱 보호 피복이 덮고 있다. 중심핵과 클래딩은 케이블에 비춘 빛의 도파관 역할을 한다. 입사각이 전반사 임계각보다 크기만 하면 중심핵과 클래딩의 경계에서 전반사가 일어나 빛이 중심핵을 벗어나지 못하기 때문이다. 따라서 케이블이 휘어도 너무 많이 휘지만 않으면 빛은 중심핵 섬유를 따라간다.

이제 LDM을 연속 측정(**E**, 그림 1.2 참조)으로 설정하여, 화면 값 y가 대략 1초에 한 번씩 바뀌게 하시오. LDM은 몇 분이 지나면 자동으로 절전 모드로 들어간다. 빨간 시작 단추를 누르면 다시 켜진다.

수신부의 렌즈를 지름 2 mm 구멍이 뚫린 작은 검은 펠트 패드 하나(다른 하나는 예비용이다)로 조심스럽고 부드럽게 덮으시오(그림 1.3A 참조). 패드의 접착면을 렌즈에 살살 눌러 붙여야 한다. 길이 x인 광섬유 케이블을 패드의 구멍에 끼워 렌즈에 닿게 하시오.

그림 1.5 참조.



그림 1.5 (a) 펠트 패드와 광섬유 케이블. **(b)** 광섬유 케이블 붙이기.

케이블의 다른 쪽 끝은 송신부에 대어, 레이저 빛살 가운데에서 유리에 닿게 해야 한다. 이제 화면에서 y 값을 읽으시오. 주어진 가위로 광섬유 케이블을 여러 길이 x로 잘라 써야 한다.

<u>아주</u> 신중히 생각한 뒤에 광섬유 케이블을 자르시오. 케이블은 더 받을 수 없습니다!!

또한 연속 모드로 한동안 두면 전자 회로가 지나치게 뜨거워져 LDM 화면에 온도계 아이콘이 나타날 수 있다. 그러면 LDM을 잠시 꺼서 식히시오.

1.2a	x와 y의 대응하는 값들을 측정하시오. 측정값으로 표를 만드시오. y를 x의 함수로 나타낸 그래프를 그리시오.	1.8
1.2b	그래프를 써서 광섬유 케이블의 중심핵을 이루는 물질의 굴절률 n_{co}를 구하시오. 광섬유 케이블 중심핵 속 빛의 속력 v_{co}를 계산하시오.	1.2

1.3 연직에서 기울어진 레이저 거리 측정기

실험의 이 파트에서는 그림 1.6의 장비가 필요하다.

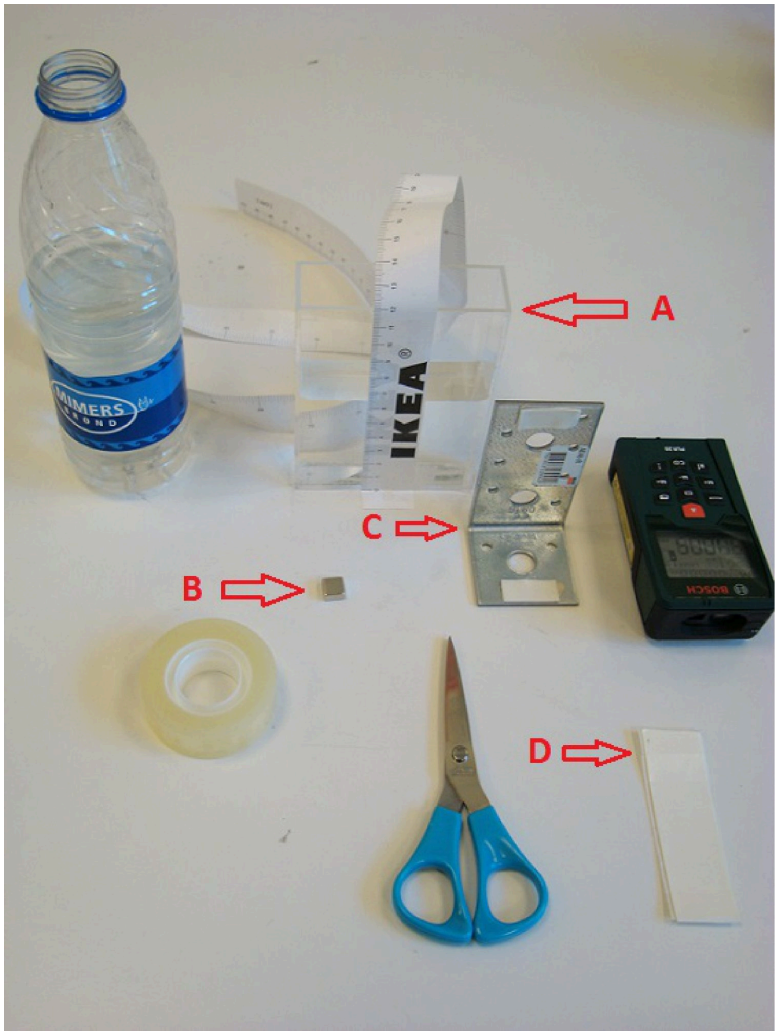


그림 1.6 실험 1.3에 쓰는 장비:
A: 물과 줄자가 든 광학 용기
B: 검은 상자 위에 앵글을 고정하는 자석(자석은 앵글 위에 놓여 있다)
C: 접착식 스펀지 패드를 붙인 앵글
D: 접착식 스펀지 패드

렌즈에서 검은 펠트 패드를 떼어 내시오. 이제 LDM을 다음과 같이 배치해야 한다. 앵글에 접착식 스펀지 패드 두 개를 붙이시오. 그림 1.7의 **A**를 보라.

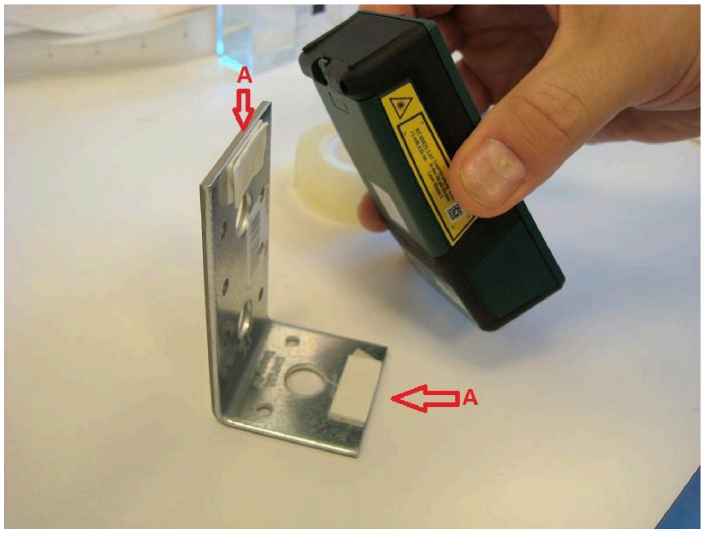


그림 1.7 앵글에 접착식 스펀지 패드 두 개를 붙이는 방법.

그림 1.8처럼 LDM을 앵글 위에 조심스럽게 올려놓아야 한다.



그림 1.8 레이저 거리 측정기를 앵글 위에 놓는 방법.

LDM을 올린 앵글은 그림 1.9처럼 검은 상자 위에 달아야 한다. 상자 안쪽 아래에 놓은 자석으로 앵글을 상자에 고정하시오(작은 자석은 앵글 위에 있다). 상자에서 위를 향한 면이 약 4° 기울어져 있으므로 LDM을 사진과 똑같이 다는 것이 중요하다. 이제 레이저 빛살이 가로막힘 없이 비스듬히 아래를 향해야 한다.

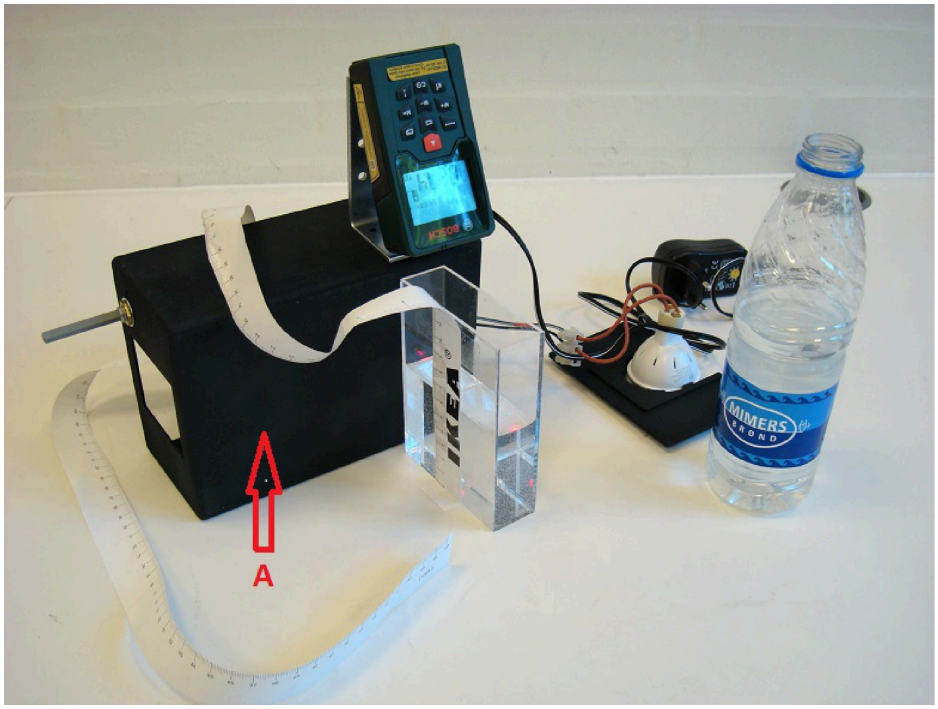


그림 1.9 실험 장치. (검은 상자는 받침으로만 쓴다. 병 뒤의 장비는 쓰지 않는다.)

A: 중요: 검은 상자의 바닥이 그림처럼 앞을 향해야 한다. 위를 향한 면은 수평면에 대해 약 4° 기울어져 있다. 각 θ_1이 늘 같도록 하시오.

LDM을 켜고 위에서 설명한 대로 달면 레이저 빛살은 연직 방향과 각 θ_1을 이룬다. 이 실험 내내 같아야 하는 이 각을 이제 구해야 한다. 여기서는 광학 용기가 필요 없으니 당분간 치워 두시오.

1.3a	레이저 빛살이 탁자 윗면에 닿는 레이저 점까지의 거리 y_1을 LDM으로 측정하시오. 그다음 레이저 빛살이 바닥에 닿을 때까지 LDM을 단 상자를 수평으로 옮기시오. 레이저 빛살이 바닥에 닿는 레이저 점까지의 거리 y_2를 측정하시오. 불확도를 밝히시오.	0.2
1.3b	이 측정값 y_1, y_2와 (문제 1.1의) H만 써서 각 θ_1을 계산하시오. 불확도 $\Delta\theta_1$을 구하시오.	0.4

1.4 광학 용기 실험

레이저 빛살이 용기 바닥의 대략 가운데에 닿도록 광학 용기를 놓으시오. 그림 1.10을 보라. 용기에 물을 조금 부으시오. 물의 깊이는 x이다. LDM 화면에서 y를 읽으시오.

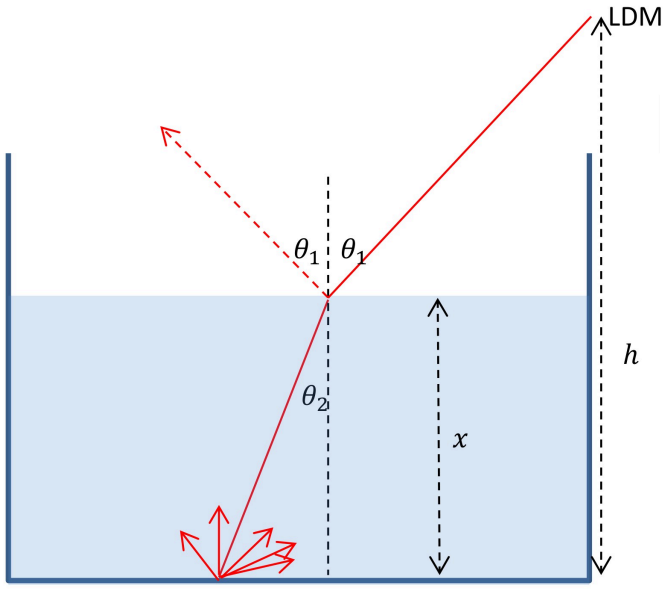


그림 1.10 깊이 x인 물이 든 광학 용기 속 레이저 빛살의 경로.

1.4a	x와 y의 대응하는 값들을 측정하시오. 측정값으로 표를 만드시오. y를 x의 함수로 나타낸 그래프를 그리시오.	1.6
1.4b	그래프가 어떤 모양일지 식으로 이론적으로 설명하시오.	1.2
1.4c	그래프를 써서 물의 굴절률 n_w를 구하시오.	1.2