라디오파의 전파

전자기파는 우리 삶에서 중요한 역할을 한다. 많은 기술적 진보가 이 파동의 전파 특성에 바탕을 두고 있다. 이 실험에서는 물, 공기, 그리고 도파관 속에서 라디오파가 어떻게 전파되는지 연구한다.

도구.

- 방수 하우징에 든 단색 라디오파 송신기(주파수는 200 MHz에서 5 GHz 사이)로, 그림 1에 "A"로 표시되어 있다. 파원의 위치는 그림에 점선으로 나타나 있다. 송신기는 수신기 "B"와 짝을 이루며, 수신기는 받은 전자기파의 전력 P를 측정하여 결과를 데시벨로 보여 준다[데시벨 단위 측정값 $= 10\log_{10}\left(\frac{P}{1\,\mathrm{mW}}\right)$]. 수신기는 15초마다 측정값을 읽는다. 센서의 위치는 장치에 빨간 삼각형으로 표시되어 있다. **주의! 수신기는 방수가 아니다! 송신기 하우징은 방수 처리되어 밀봉되어 있으므로 절대 열어서는 안 된다!**
- 지름이 서로 다른 금속관 "C" 한 벌(안지름 $d_1 = 41\,\mathrm{mm}$, $d_2 = 46\,\mathrm{mm}$, $d_3 = 59\,\mathrm{mm}$, $d_4 = 100\,\mathrm{mm}$).
- 한쪽 끝이 마개로 막힌 플라스틱관 "D".
- 바닥이 평평한 플라스틱 상자 "E". 상자 벽을 지나는 라디오파의 위상 변화는 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정해도 된다.
- 알루미늄 포일 한 롤 "F".
- 그림 2와 같이 송신기의 차폐 거치대를 만들 수 있는 폼 조각 4개 "G".
- 자 "H".
- 물이 담긴 플라스틱 양동이 "I", 주전자 "J", 플라스틱 컵 "K", 휴지 "L".
- 가는 끈 "M", 클립 "N", 테이프 한 롤 "O", 고무줄 "P", 나무 막대 "Q".

송신기는 수신기와 짝지어져 있어서, 수신기는 다른 송신기들의 신호를 모두 걸러 낸다. 그러나 라디오파는 사람의 몸을 비롯한 방 안의 모든 물체에서 반사되어 간섭을 일으킨다는 점을 명심하라. 따라서 수신기 가까이에 손을 가져가거나 몸을 움직이면 수신기의 측정값이 달라질 수 있다. 받은 전력은 수신기와 송신기의 방향에도 의존한다. 알루미늄 포일로 만든 차폐에 주의하라: 아주 작은 구멍이나 틈(예: 그림 2에서 포일과 상자 사이)으로도 파동이 새어 나갈 수 있다.

과제 1–4는 서로 독립적이며 어떤 순서로 해도 된다. 사용한 실험 장치를 모두 그리고, 중요한 설계 세부 사항을 강조하며, 사용한 공식을 모두 적고, 측정한 데이터를 모두 표로 정리하고, 적절한 곳에 그래프를 그리시오. 불확도를 추정할 필요는 없으나 가능한 한 정밀하게 측정하도록 노력하시오.

과제 1. 수신기의 감도. (1점)
측정할 수 있는 가장 낮은 수신 전력은 몇 mW인가?

과제 2. 물에서의 파장. (6점)
물속에서 라디오파의 파장을 구하시오. 그림 2의 장치를 써도 된다.

다음 과제들에서는 매질(물 또는 공기)로 채운 금속관 속에서 파동의 전파를 연구한다. 이 경우

$$\vec{E} = \vec{E}_0(r,\varphi)\mathrm{e}^{-\alpha z}\mathrm{e}^{\mathrm{i}(kz-\omega t)}, \tag{1}$$

여기서 $\vec{E}$는 전기장 벡터, α는 매질에서의 소산에 의한 감쇠를 나타내며(물에서는 $\alpha > 0$, 공기에서는 $\alpha = 0$), 원통 좌표 r, φ, z를 썼다.

함수 $\vec{E}_0(r,\varphi)$는 도파관 단면에 걸친 정상파를 나타낸다. 단면에서의 서로 다른 정상파는 도파관 속 파동의 서로 다른 전파 모드에 대응한다. 도파관 속 파동의 분산 관계는 다음과 같다.

$$\omega^2 = \left(k_\star^2 + k^2\right)c^2, \tag{2}$$

여기서 c는 도파관을 채운 매질에서의 빛의 속력이고, $k_\star$는 관의 지름과 전파 모드에만 의존하는 양의 상수이다. 이 실험에서는 $k_\star$ 값이 가장 작은 모드를 제외한 다른 전파 모드는 모두 무시해도 된다. 파동이 도파관을 따라 감쇠 없이(실수 파수 벡터 k로) 전파될 수 있는 것은 진동수가 충분히 높을 때, 즉 $\omega \geq ck_\star$일 때뿐이라는 점에 유의하라. 식 (1)과 (2)는 더 낮은 진동수에서도 성립하며, 이때는 순허수 $k = \mathrm{i}\mu$가 되어 감쇠하는 (소멸, evanescent) 모드에 대응한다.

과제 3. 물에서의 감쇠 (3점) 힌트: 플라스틱관에 물을 채우고 알루미늄 포일로 꼭 감싸면 라디오파가 관을 따라 전파될 수 있다. 물에서의 감쇠 계수 α를 구하시오. 힌트: 플라스틱관에 물을 채우고 알루미늄 포일로 꼭 감싸면 라디오파가 관을 따라 전파될 수 있다; 관이 넘어지지 않도록 테이프를 쓰시오.

과제 4a. 공기로 채운 도파관에서의 소멸 모드 (2점) 송신기를 지름 $d_1 = 46\,\mathrm{mm}$인 알루미늄 관에 넣고, 관 출구에서 수신기가 받는 파동의 전력 P가 관 출구로부터 송신기까지의 거리 z에 어떻게 의존하는지 조사하시오. z의 함수로 측정한 P로부터 소멸 모드의 매개변수 μ를 구하시오.

과제 4b. (5점) 매개변수 μ가 관의 지름 d에 어떻게 의존하는지 알아내기 위해 일련의 측정을 하시오. 이 두 양 사이의 함수 관계를 제안하고 실험으로 검증하시오.

과제 5. 공기에서의 파장과 물의 굴절률 (3점) 이 라디오파의 공기 중 파장을 구하고, 라디오파에 대한 물의 굴절률을 계산하시오.

그림


F
M
I
C
C
C
D
N
E
C
O
H
Q
J
K
P
6 mm
A
30.05.2019 18:16
173
TERMINAL
-29 dBm
B
L
G
G
G
G

그림 1

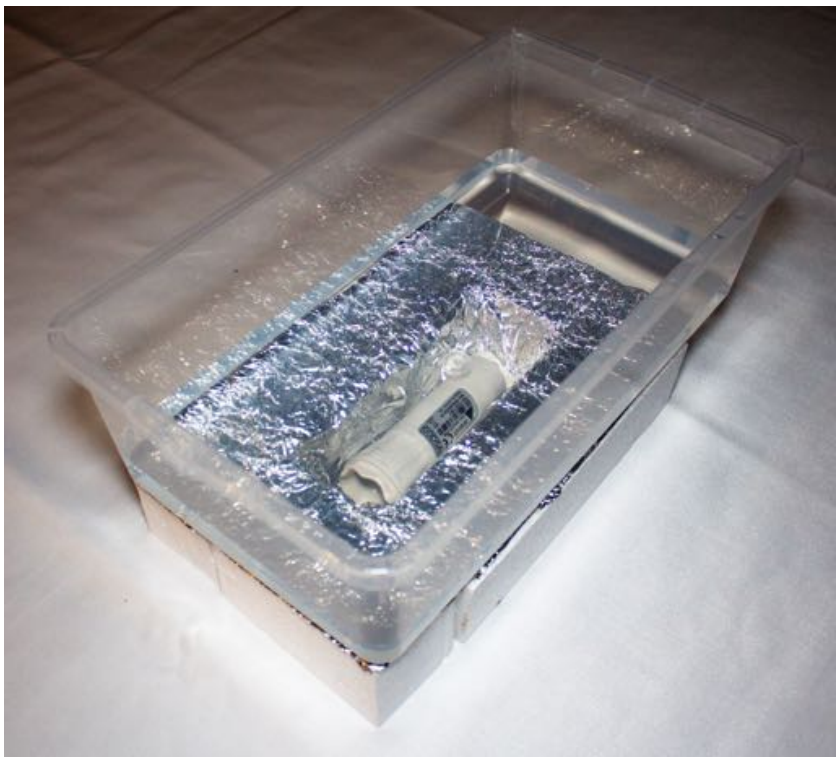


그림 2