자기적으로 활성인 유체에서의 파동 펄스 (10점)

서론

이 문제에서는 강자성유체에서 파동 펄스의 성질을 조사한다. 유체에서 만들 수 있는 표면파 펄스는 중력, 표면장력, 자기력의 효과가 상호작용하여 생긴다.

파동 펄스에는 단일한 파장이나 진동수가 없지만, 자기장이 없을 때 펄스의 전파 속력은 다음과 같음이 알려져 있다

$$v(d) = \kappa\sqrt{d}, \tag{1}$$

여기서 d 는 유체의 깊이이고 α 는 비례상수이다. 이 관계는 진폭이 비교적 작은 파동에만 적용된다. 파동의 진폭이 크면 펄스 때문에 유체 깊이가 달라져 전파 속력이 바뀌고 비선형 효과가 나타난다. 비선형 효과가 크지 않으면 파동 펄스는 전파하면서 그 모양을 근사적으로 유지한다. 그러나 비선형 효과가 크면 펄스는 전파하면서 모양이 바뀔 수 있고, 주 펄스의 앞이나 뒤에 잔물결이 생기는 일이 흔하다.

파트 A: 평면 펄스 (1.3점)



필요한 장치의 사진. (a) 나무 받침 위에 놓인, 강자성유체가 든 유리 접시, (b) 차광 덮개와 스탠드 아래, 나무 받침 위의 유리 접시, (c) 차광 덮개와 스탠드 위의 카메라.

강자성유체에 평면파를 만들려면, 접시의 긴 변이 받침 가장자리의 턱에 오도록 강자성유체가 든 용기를 나무 받침 위에 놓아라. 이 턱은 밀었을 때 접시가 한 방향으로만 움직이게 하기 위한 것이다. 받침이 평평하고 수평인지 확인하라. 펄스를 만들려면 손으로 접시를 약 2 cm 거리만큼 세게 밀어라. 펄스 생성의 일관성을 위해 블루택이나 나무 스페이서를 써서 나무 받침 위에 강자성유체 용기의 시작 위치와 끝 위치를 표시해도 된다. 더 일관된 펄스를 만들 수 있도록 적어도 몇 번은 펄스 만들기를 연습해 보기를 권한다.

그 다음 접시 위에 스탠드를 설치해야 한다. 유체 안의 펄스를 관찰할 수 있도록 램프로 충분한 조명을 주어야 한다. 스탠드를 통해 눈으로 평면파 펄스를 만들고 관찰할 수 있는지 확인하라. 이것이 가능해지면 스탠드 위에 카메라를 놓고 유체의 동영상을 찍어라. 쓸 만한 동영상을 얻으려면 조명과 펄스 진폭을 조절해야 할 수 있음에 유의하라. 조명을 맞추려면 블루택으로 램프를 알맞은 위치에 놓으면 되고, 빛을 막거나 방향을 더 잡기 위해 알루미늄 포일을 써도 된다.

Asian Physics Olympiad Adelaide 2019

Q2-2

조명을 맞출 때에는 광원에서 카메라로 빛이 곧바로 들어가는 것을 어떻게 줄일지, 그리고 용기 뚜껑에서 반사되는 빛을 어떻게 줄일지 생각하는 것이 중요하다. 다시 알리지만 안전상의 이유로 용기에서 뚜껑을 떼어서는 안 된다. 서로 다른 상황에서 유용할 수 있는 두 가지 방법은, 스탠드 안 모든 방향에서 매우 확산된 빛을 주는 것과, 용기의 유리 옆면을 통해 유체로 빛을 곧바로 보내는 것이다.

동영상을 만들고 재생하는 방법은 부록 A의 카메라 설명을 보라. 카메라의 기본 자동 설정이 필요한 동영상을 만드는 데 알맞음에 유의하라. 관찰한 효과를 기록하기가 어렵다면, 파동 펄스를 더 뚜렷이 관찰할 수 있도록 조명을 조절해야 한다.

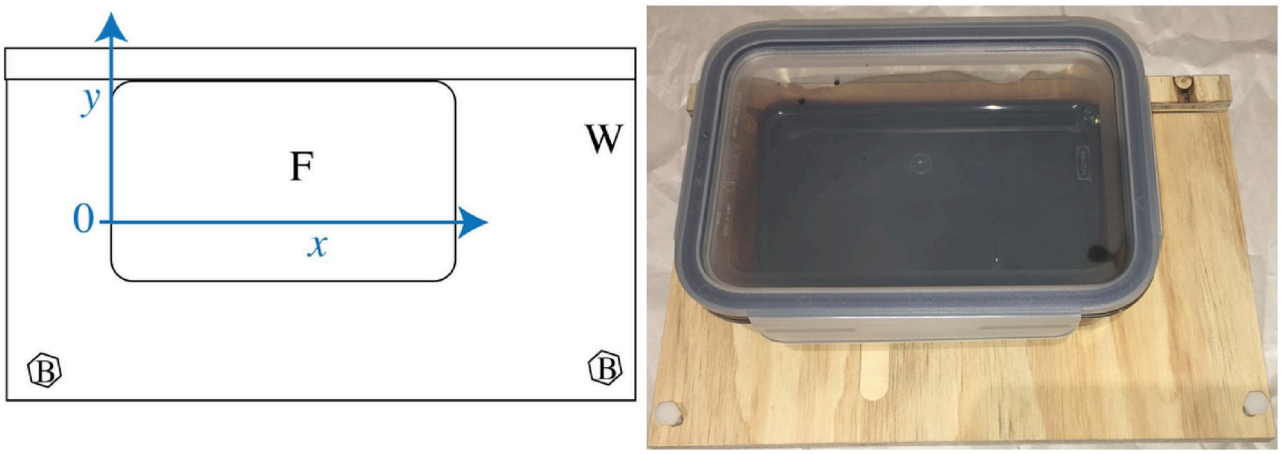
A.1	장치의 그림을 그려라. 특히 빛을 어디에 놓고 어느 방향으로 향하게 했는지 보여라.	0.3pt

A.2	동영상으로부터 측정과 계산을 수행하여 강자성유체에서 파동의 속력을 구하라. 측정을 할 때 동영상의 주요 프레임 그림도 그려서 중요한 특징을 보이고 수행한 측정을 표시하라.	0.8pt

A.3	측정의 불확도를 어림하고, 어림에 쓴 식을 모두 보여라.	0.2pt

파트 B: 깊이가 변하는 유체에서의 파동 펄스 (3.4점)

나무 받침 모서리의 구멍에 나일론 볼트를 끼워라. 볼트를 조절하여, 용기 안 유체의 깊이가 아래쪽 가장자리로부터의 거리(y 방향)에 따라 선형으로 변하고 수직 방향(x 방향)으로는 변하지 않도록 판을 설치할 수 있다. 유체 깊이 $d = 0$ 인 곳을 $y = 0$ 으로 잡았고, 따라서 xy 평면이 유체 표면의 평면이다.



깊이가 y 방향으로 변하도록 나무 받침 W 위에 강자성유체 F가 든 유리 접시를 설치한 모습.

유체에서 파동의 속력은 깊이에 따라 달라지므로, 용기의 한쪽 끝에서 평면 펄스를 만들면 전파하면서 휘어진다.

강자성유체에서 깊이에 따른 펄스 속력의 변화를 가장 잘 특징지을 수 있도록 나무 받침 위에

강자성유체가 든 유리 접시를 설치하라.

B.1	i. 여러분이 설치한 대로 강자성유체가 든 용기의 그림을 그려라. 용기에서 y 의 함수로 깊이를 알기 위해 중요한 모든 거리의 측정값을 불확도와 함께 표시하라. ii. $d(y)$ 에 대한 식을 써라.	0.3pt

B.2	용기에서 평면 파동 펄스를 만들고, 관찰한 펄스를 정성적으로 그려라. 그림에서 펄스가 가장 빠르게 진행하는 영역은 문자 A로, 가장 느리게 진행하는 영역은 문자 B로 표시하라. 참고: 펄스를 뚜렷이 관찰하려면 빛의 위치를 조절해야 한다. 조명을 맞추려면 블루택으로 빛을 알맞은 위치에 놓으면 되고, 알루미늄 포일로 차광판이나 반사판을 만들어 빛의 방향을 더 잡아도 된다.	0.3pt

1차 근사로, 펄스는 처음에 x 방향으로 진행하다가 계속 x 방향으로만 진행한다고 생각하자. 참고: (x, y) 는 시각 t 에서 점들의 좌표이며 시각 t 에서 펄스 위 점들의 좌표이다.

B.3	i. $t = 0$ 일 때 $x = 0$ 에 있는 평면 펄스에 대해 x, y, t 사이의 관계를 구하라. ii. B2에서 그린 그림에, 여러분이 설치한 강자성유체가 든 유리 접시 안에서 이 근사가 더 잘 맞는 곳을 문자 V로 표시하라.	0.3pt

B.4	장치의 그림을 그려라. 특히 빛의 위치와 방향을 보여라. κ 를 구하기 위한 자료를 모아 답안지의 표에 기록하라. 모든 자료에 대해 불확도 어림값을 포함하라. 측정을 할 때 동영상의 주요 프레임 그림도 그려서 중요한 특징을 보이고 수행한 측정을 표시하라.	1.2pt

B.5	i. 그래프를 이용하는 방법으로 κ 의 값을 계산하라. 각 측정에 대해 오차 막대를 포함하라. v 를 계산하는 데 쓴 식, 그 어림 불확도 Δv, d 와 그 어림 불확도 Δd 를 자세히 밝혀라. B4의 표에 그래프를 위해 추가로 계산한 값이 있으면 기록하라. ii. 자료로부터, B3에서 이끌어 낸 관계식이 관찰한 파동 펄스를 기술하기 위한 x, y, t 의 조건을 말하라.	1.3pt

파트 C: 파동과 자기 효과 (1.8점)

경고: 자석들이 부딪히면 깨지기 쉽다. 깨진 자석은 위험하며 깨뜨리면 교체해 주지 않는다.

문제 1에서 보았듯이 자기장이 있으면 강자성유체는 장이 가장 센 영역으로 이동한다. 이 파트의 목표는 파동과 자기 효과의 상호작용을 정성적으로 조사하는 것이다.

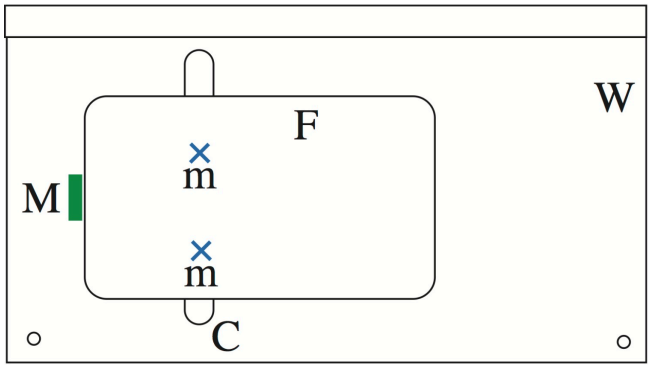
평면 펄스를 만들 때처럼 강자성유체의 깊이가 일정하도록 용기를 설치하라. 다음으로 아래에 작은 자석 두 개를 아래 그림처럼 놓아라. 자석들은 나무판의 채널에서 옆으로 밀어 붙였을 때 서로 밀치도록 극이 정렬되어

있어야 한다. 강자성유체를 놓았을 때 밀치지 않으면서 가능한 한 가까이 오도록 자석을 배치해야 한다.

자석을 안전하게 놓는 방법은, 먼저 **하나**를 채널에 넣고 그 위에 강자성유체가 든 유리 접시를 놓는 것이다. 나무 스페이서를 채널 안에서 써서 자석의 위치를 잡을 수 있다. 그 다음 두 번째 자석을 접시 옆에서 시작하여 스페이서로 강자성유체 아래 채널을 따라 밀어 넣으면 된다.

다음 세 가지 방법으로 파동 펄스를 만들어라:

- 큰 N42 자석을 강자성유체 가까이에서 빠르게 물려 자기적으로 만들기,
- 나무 받침 위에서 용기를 밀어 역학적으로 만들기,
- 용기를 위에 고정한 채 나무 받침을 밀어 역학적으로 만들기.



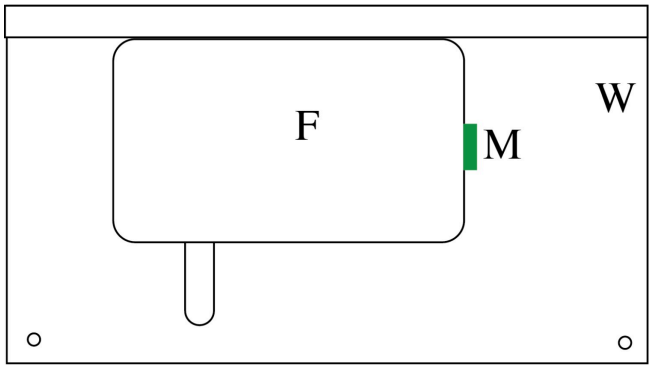
강자성유체를 통해 진행하는 펄스를 만들기 위해 큰 자석 M을 빠르게 치우기 전에 놓아 둘 자리를 보여 주는 그림. F는 강자성유체가 든 유리 접시, m은 작은 자석, W는 나무 받침, C는 채널이다.

C.1 세 가지 구동 방식 모두에 대해 파동 펄스에 대한 정성적 관찰을 그려라. 유체 아래 자석이 있을 때 펄스의 파면에 어떤 영향을 주는지 그림에 분명히 나타내라. 관찰한 모든 파동 현상을 밝혀라. 관찰한 펄스 전파의 어떤 특징이 어떤 효과 때문인지 해당 번호로 표시하라. 1.8pt

1. 반사
2. 굴절
3. 도플러 효과
4. 맥놀이
5. 회절
6. 간섭
    (a) 정상파
    (b) 두 슬릿이나 두 광원에 의한 것
    (c) 회절격자에 의한 것
    (d) 그 밖

파트 D: 강한 자기장 안 강자성유체의 내부 성질 (3.5점)

이 파트의 목표는 강자성유체에서 펄스 전파에 자석이 주는 효과를 정량화하는 것이다.



D1에서 파동 펄스를 만들기 위한 자석의 위치를 보여 주는 그림.

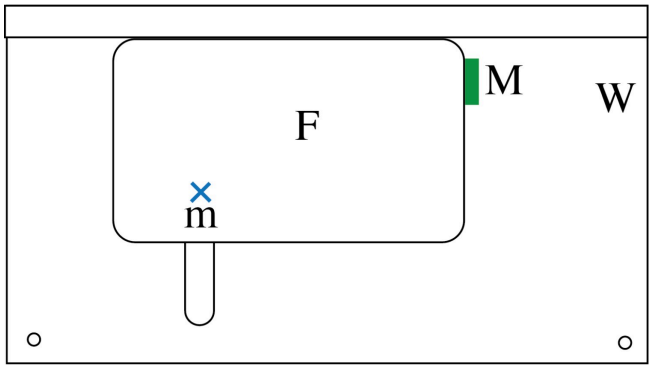
평면 펄스를 만들 때처럼 강자성유체의 깊이가 일정하도록 용기를 설치하라.

C1에서처럼 **큰** N42 자석으로 자기적으로 펄스를 만들고, 자기적으로 구동된 펄스를 뚜렷이 관찰할 수 있도록 조명을 맞추어라.

D.1	강자성유체에서 자기적으로 구동된 펄스를 정성적으로 그려라.	0.2pt

D.2	펄스의 속력을 불확도와 함께 정하라. 빛의 위치와 방향을 포함하여 장치의 그림을 그리고, 모든 자료와 사용한 식을 기록하라. 측정을 할 때 동영상의 주요 프레임 그림도 그려서 중요한 특징을 보이고 수행한 측정을 표시하라.	0.8pt

이제 나무 받침의 채널에 작은 자석 하나를 넣고, 그 위에 강자성유체가 든 접시를 놓아라. 자석의 위치는 나무 스페이서로 조절할 수 있는데, 채널 안에서도 쓸 수 있고 유리 접시 아래에서 자석을 밀어 옮길 때에도 쓸 수 있다.



강자성유체가 든 유리 접시 아래 작은 자석의 위치는 x로 표시했고, 접시 밖에서 잡고 있다가 빠르게 치워 파동 펄스를 만드는 큰 자석의 위치는 M으로 표시했다.

위 그림에 표시된 위치에 큰 자석을 두고 시작하여 자기적으로 파동 펄스를 만들고, 자기장이 센 영역을 포함하여 강자성유체를 지나는 펄스를 관찰하라.

D.3	파동 펄스에 대한 정성적 관찰을 그려라. 유체 아래 자석이 있을 때 파면에 어떤 영향을 주는지 그림에 분명히 나타내라.	0.4pt

D.4	유체 아래 자석이 있을 때 파동 펄스의 전파 시간에 주는 효과를 정하기 위한 장치의 그림을 그려라. 자석들의 위치와 빛의 위치도 분명히 표시하라.	0.3pt

D.5	자석이 있는 영역을 가로지르는 펄스의 진행 시간을 정하기 위해 측정을 하고 불확도 어림값과 함께 기록하라. 측정을 할 때 동영상의 주요 프레임 그림도 그려서 중요한 특징을 보이고 수행한 측정을 표시하라.	1.0pt

D.6	자석 위 강자성유체의 깊이가 더 깊어진 것으로 파동 펄스의 속력 차이를 설명할 수 있는가? 답을 뒷받침하는 계산을 보여라.	0.8pt

부록 A: Canon IXUS-185 사용법

카메라를 켜거나 끄려면 카메라 위쪽의 “ON/OFF”라고 표시된 버튼 (O)를 눌러라. 카메라는 일정 시간이 지나면 자동으로 꺼짐에 유의하라.

초점을 맞추려면 카메라 위쪽의 버튼 (S)를 반쯤 눌러라.

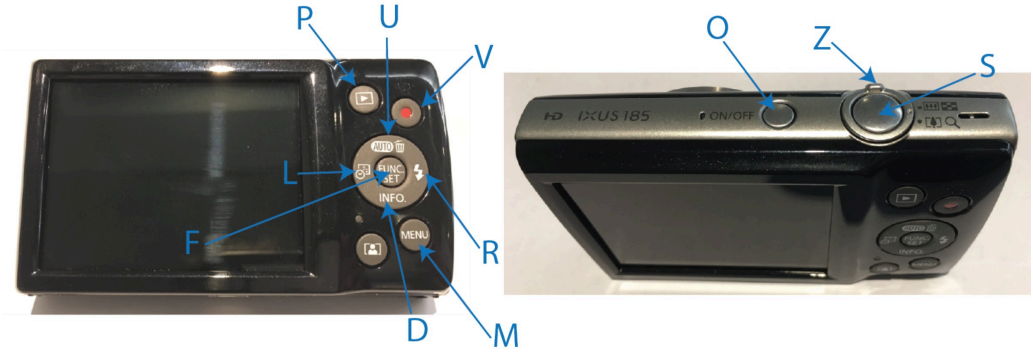
사진을 찍으려면 카메라 위쪽의 버튼 (S)를 눌러라.

동영상을 찍으려면 빨간 점이 표시된 버튼 (V)를 눌러 녹화를 시작하라. 다시 누르면 녹화가 멈춘다. 기본 HD 동영상은 초당 25 프레임으로 기록됨에 유의하라.

찍은 사진이나 동영상을 보려면 재생 버튼 (P)를 눌러라. 카메라 뒷면의 링 버튼에 있는 오른쪽 (R)과 왼쪽 (L) 버튼으로 사진과 동영상 사이를 이동하라.

- 카메라 위쪽의 링 (Z)로 사진을 확대하거나 축소할 수 있다. 참고: 동영상을 찍은 뒤에는 확대할 수 없다.
- 동영상을 재생하려면 카메라 뒷면 링 버튼 가운데의 “FUNC. SET” 버튼 (F)를 두 번 눌러라.
- 동영상을 일시 정지하려면 재생 중에 카메라 뒷면 링 버튼 가운데의 “FUNC. SET” 버튼 (F)를 눌러라.
- 동영상을 일시 정지하면 화면 아래에 선택 항목이 나타난다. 왼쪽부터 차례로 종료, 재생, 슬로 모션, 뒤로 건너뛰기, 이전 프레임, 다음 프레임, 앞으로 건너뛰기이다. 카메라 뒷면 링 버튼의 오른쪽 (R)과 왼쪽 (L) 버튼으로 항목 사이를 이동하고, 카메라 뒷면 링 버튼 가운데의 “FUNC. SET” 버튼 (F)로 동영상 재생 음량을 바꾼다.

확대하거나 축소하려면 링 (Z)를 왼쪽으로 밀면 축소되고 오른쪽으로 밀면 확대된다.



카메라 설정 메뉴로 들어가려면 “MENU”라고 표시된 버튼 (M)을 누른 다음, 카메라 뒷면의 오른쪽 링 버튼 (R)로 카메라 설정 메뉴로 들어가라. 첫 번째 항목은 카메라 소리 끄기임에 유의하라.

- 카메라 뒷면 링 버튼의 오른쪽 (R), 왼쪽 (L), 위쪽 (U), 아래쪽 (D) 버튼으로 메뉴를 이동하라.
- 카메라 뒷면 링 버튼 가운데의 “FUNC. SET” 버튼 (F)로 항목을 선택하라.
- “MENU” 버튼 (M)으로 메뉴에서 나가거나 상위 메뉴로 돌아가라.

카메라의 언어를 바꾸려면 먼저 카메라 설정 메뉴로 들어가라(위 참조). 카메라 뒷면의 오른쪽 아래 버튼 (D)(“INFO.”라고 표시됨)를 눌러 여러 쪽에 걸친 목록을 아래로 내리면서

Asian Physics Olympiad Adelaide 2019

Q2-8

Korean (Korea (Republic of))

"Language"를 찾아라. 그 다음 카메라 뒷면의 오른쪽 링 버튼 (R)를 눌러 언어 목록으로 들어가라. 카메라 뒷면 링 버튼의 오른쪽 (R), 왼쪽 (L), 위쪽 (U), 아래쪽 (D) 버튼으로 원하는 언어로 이동하라. 카메라 뒷면 링 버튼 가운데의 "FUNC. SET" 버튼 (F)로 언어를 선택하라.

참고: 필요하면 언어를 바꾸는 것 말고는 카메라의 설정을 바꿀 필요가 없다. 기본 자동 설정이 여러분이 만들어야 하는 동영상에 알맞기 때문이다. 장치의 조명을 맞추는 편이 훨씬 도움이 될 것이다.