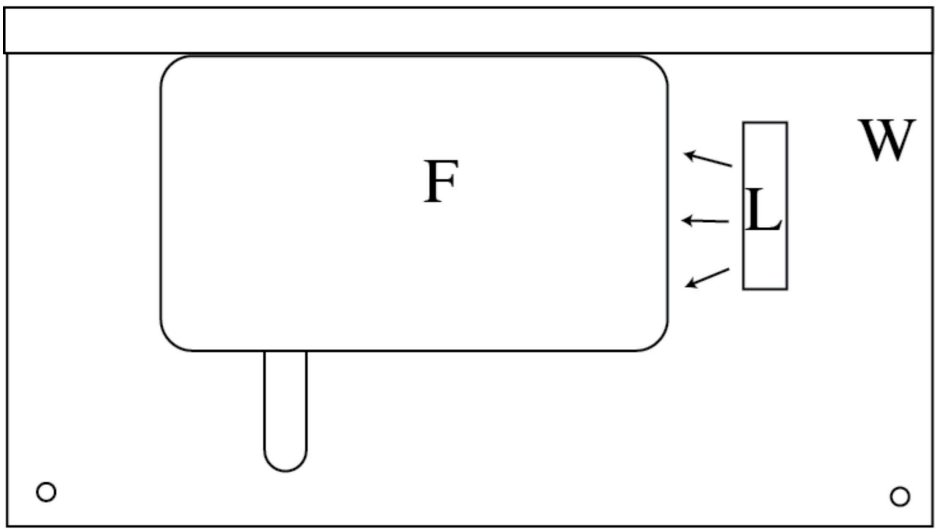
실험
Q2 자기적으로 활성인 유체에서의 파동 펄스
풀이

얻어지는 정량적 값은 유체의 깊이와 그 밖의 성질, 특히 기름이 얼마나 증발했는지에 강하게 의존한다.
여기 적힌 값들은 2019년 5월 애들레이드 APhO에서 쓰인 유체에 해당한다.
값이 다르더라도 풀이의 정성적인 면은 그대로 적용된다.

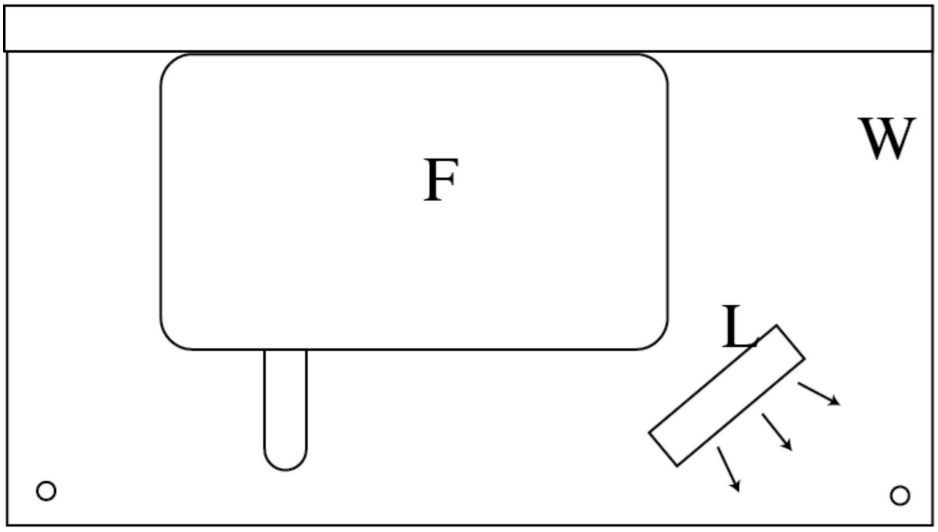
동영상을 찍을 때 빛은 두 가지 방식으로 쓴다. 파트 A와 D에서는 상자의 옆면을 통해 강자성유체 표면을 비추도록 빛을 설치한다.

이 직접 조명은 파트 A와 파트 F에서 쓴다.



F – 유체가 든 상자
L – 빛
W – 나무 받침

다른 부분에서는 확산 조명을 쓴다. 이 경우 빛은 강자성유체가 든 상자에서 위쪽 바깥으로 향한다.



파트 A 평면 펄스

A.1 직접 조명을 썼으므로, 그림은 위를 보라.

A.2 동영상의 예시 프레임 몇 개를 아래에 보인다.

눈금판의 눈금은 위치를 직접 재지 않음에 유의하라.

자로 잰 용기의 내부 길이는 17.3 ± 0.3 cm 이다.
그 거리는 눈금판 13.4칸에 해당하므로, 눈금판 칸을 cm로 바꾸는 인자는 17.0/13.4 이다.




위 영상은 평면 펄스 동영상의 두 프레임을 보여 준다. 동영상은 기본으로 초당 25프레임으로 기록된다

프레임 수	거리 (눈금칸)	거리 (m)	속력 (m/s)
8	6.5	0.83	0.26
7	6.0	0.76	0.27
9	6.8	0.85	0.24

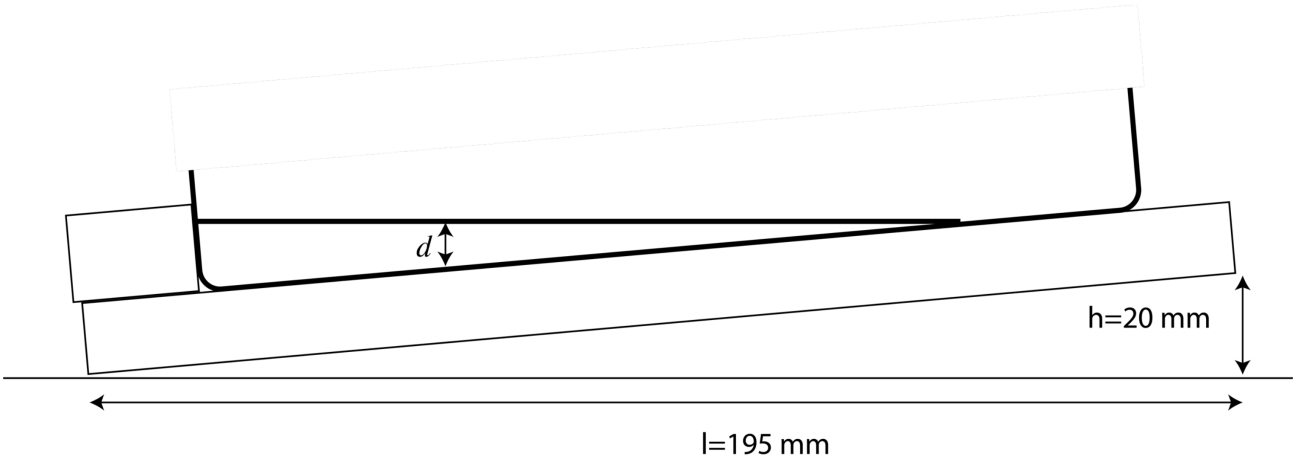
이는 $v = 0.26 \pm 0.02$ m/s 를 준다

A.3 불확도는 값들의 퍼짐으로 어림한다.

파트 B 깊이가 변하는 유체에서의 파동 펄스

B.1

i.



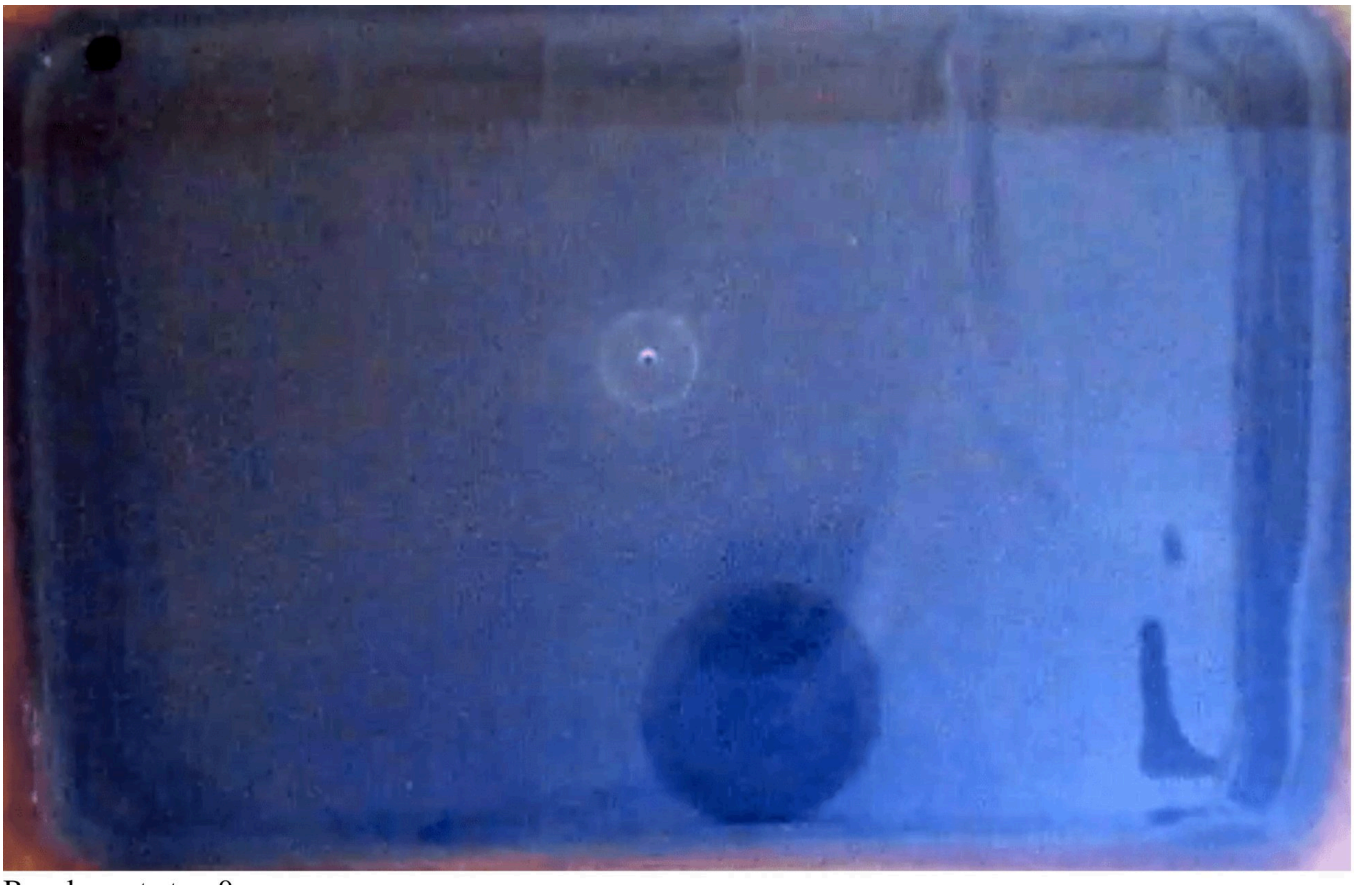
$h = 20 \pm 1$ mm, $l = 195 \pm 2$ mm. 뒤쪽의 불확도가 더 큰 것은 판 끝의 돌출부에 자를 맞추기 어렵기 때문이다.

ii.

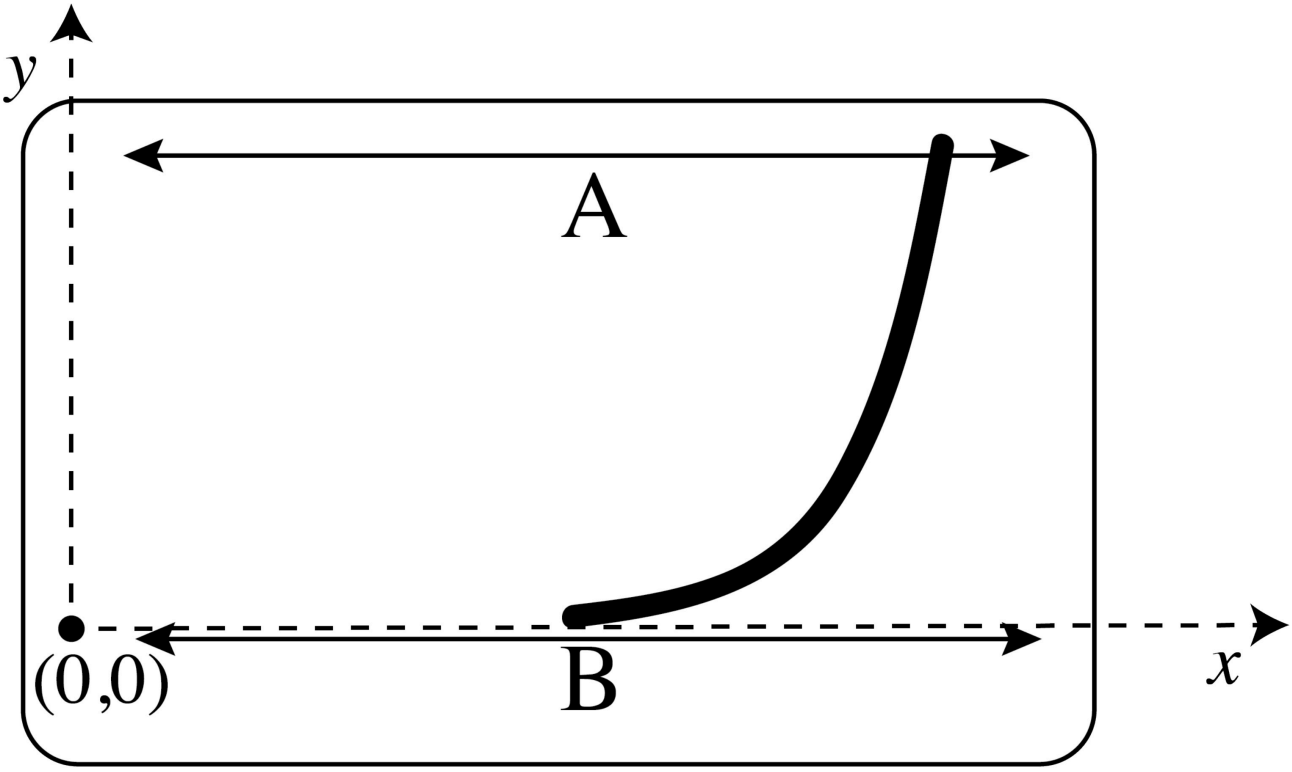
깊이가 선형으로 변하므로 $d = y\tan\theta$ 이다.
여기서 $\tan\theta = \frac{h}{l} = 0.103 \pm 0.006$ 이므로 $d = 0.103\,y$ 이다.

B.2

A – y 가 가장 클 때 가장 빠름.

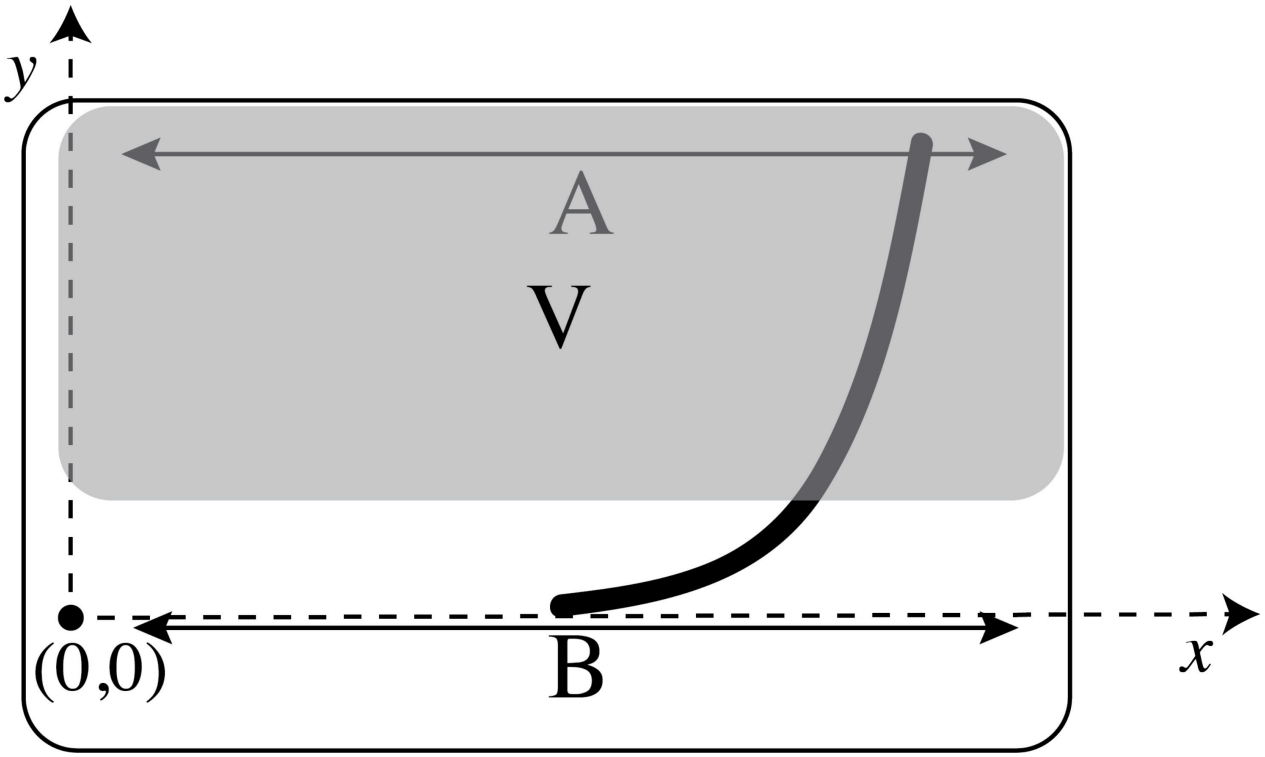


B – $y = 0$ 에서 가장 느림.



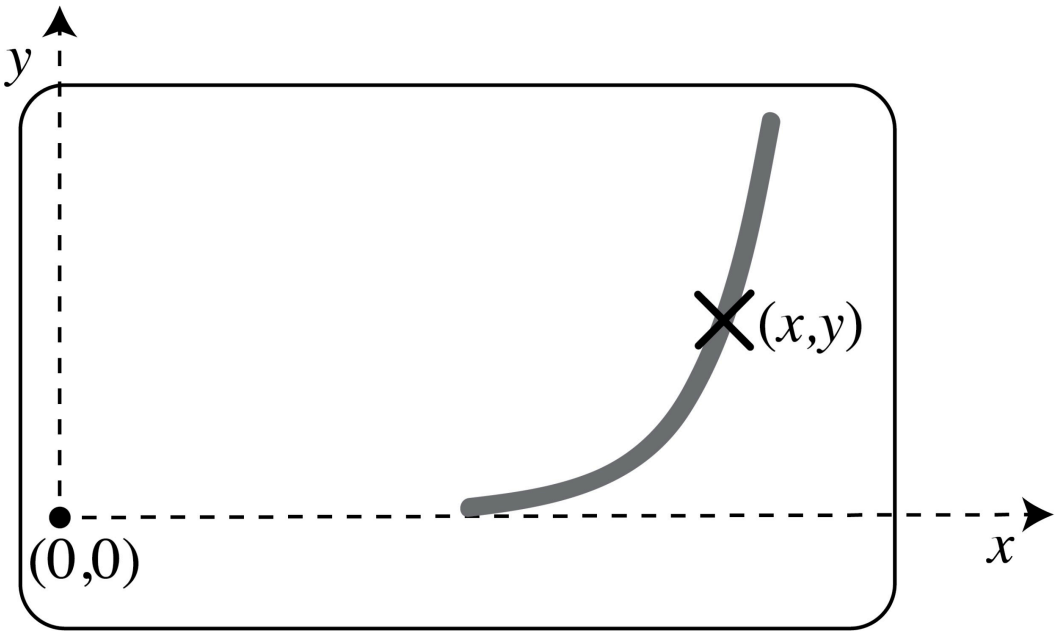
B.3 $t = 0$ 일 때 $x = 0$ 이면 $x = vt$ 이고, $v = \alpha\sqrt{d}$ 이므로 $x = \alpha\sqrt{d}\,t$ 이다.
따라서 $x = \alpha\sqrt{y\tan\theta}\,t$, 또는 동등하게 $x^2 = \alpha^2 \tan\theta\, t^2 y$ 이다.
여기서 $\tan\theta = \frac{h}{l} = 0.103 \pm 0.006$ 이므로 $x = \alpha\sqrt{0.103y}\cdot t$ 이다.

이 근사는 전파 방향이 x 방향에서 가장 많이 벗어날 때, 그리고 비선형 효과가 있어 깊이가 가장 얕을 때 가장 덜 유효하다. 둘 다 작은 y 에서, 다시 말해 어떤 상수 k 에 대해 $y < k$ 일 때 일어난다. 이는 아래 그림에서 V로 표시한 회색 음영 영역으로 나타냈다.



B.4 펄스가 굽어 있으므로 확산 조명이 더 알맞다. 가진 광원으로는 펄스의 충분한 부분에서 직접 반사를 얻을 수 없기 때문이다. 빛의 위치는 1쪽의 두 번째 그림을 보라.

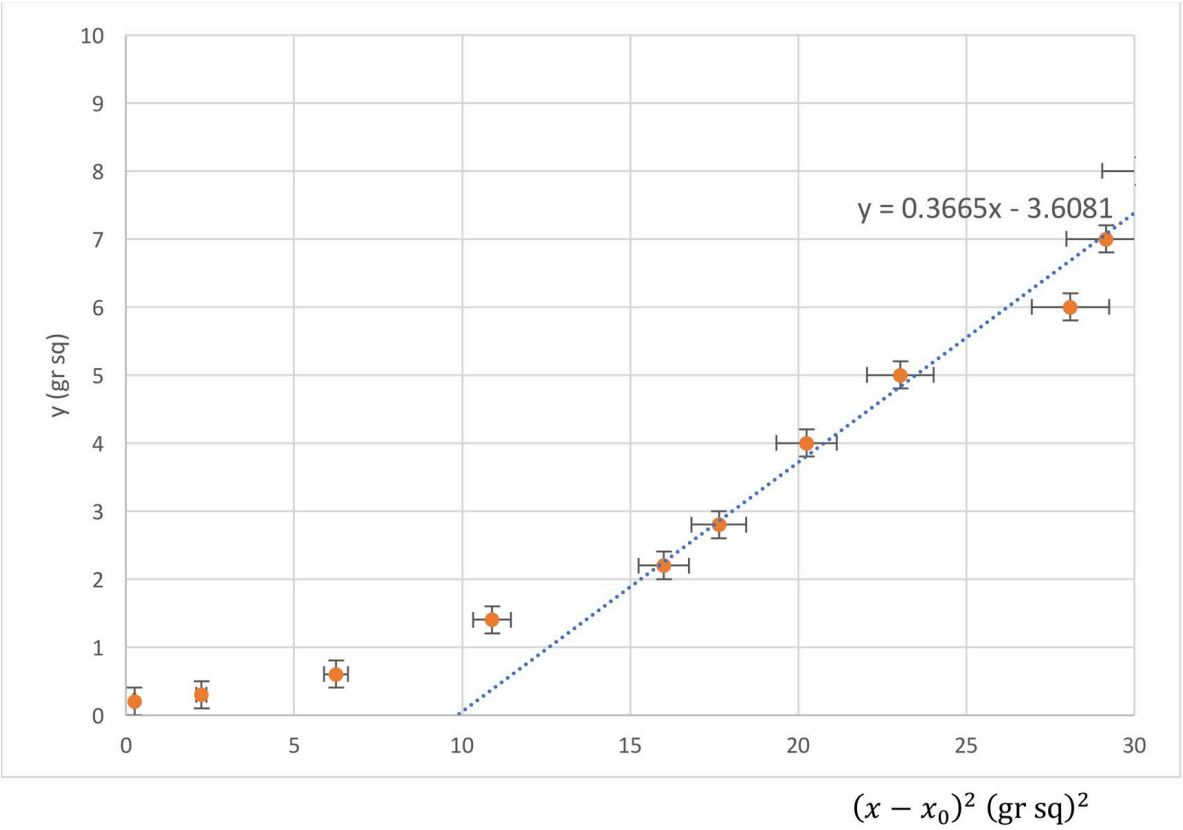
조명을 조절해 가며 굽은 펄스의 동영상을 기록하고, 가장 빠르게 진행하는 부분이 끝에 이른 근처에서 뚜렷이 보이는 펄스를 관찰한다. 그 한 프레임에 대해 펄스를 따라 있는 점들의 좌표를 기록한다.



펄스가 생성된 뒤 8번째 프레임을 썼으므로 $t = 8/25\ \mathrm{s} = 0.28\ \mathrm{s}$ 이다.
여기서 x_0 는 펄스의 앞이 $y = 0$ 에 있는 위치의 x 좌표이다. 이를 새 원점으로 잡고, $x = 0$ 위치의 오프셋은 $x_0 = 4.5$ 눈금칸이다.

x (눈금칸)	y (눈금칸)	$\frac{(x - x_0)^2}{(\text{눈금칸})^2}$	$\Delta[(x - x_0)^2]$
5.0	0.2	0.25	0.02
6.0	0.3	2.25	0.15
7.0	0.6	6.3	0.4
7.8	1.4	10.9	0.6
8.5	2.2	16.0	0.8
8.7	2.8	17.6	0.8
9.0	4.0	20.3	0.9
9.3	5.0	23.0	1.0
9.8	6.0	28.1	1.1
10.0	8.0	30.3	1.2
9.9	7.0	29.2	1.2

B.5



SI 단위로 바꾸면 기울기 m = 0.280 /m.

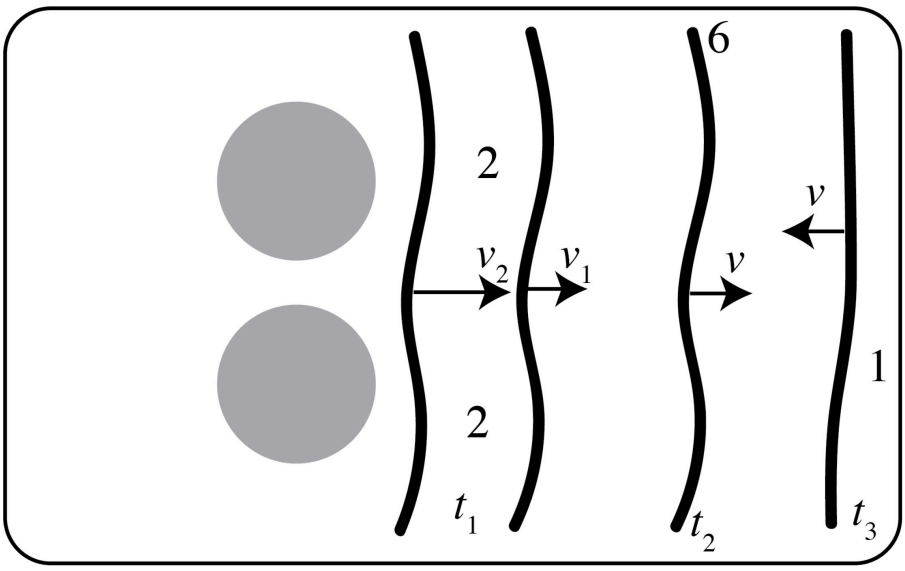
$$m = \alpha^2 \tan\theta\, t^2$$

따라서 $\alpha = 5.9 \pm 0.5\ m^{1/2}s^{-1}$ 이고 $v(d) = 5.9 \times \sqrt{d}$ 이다.

불확도는 최악의 맞춤 직선의 기울기 m = 0.331/m 으로 계산했다.

파트 C 파동과 자기 효과

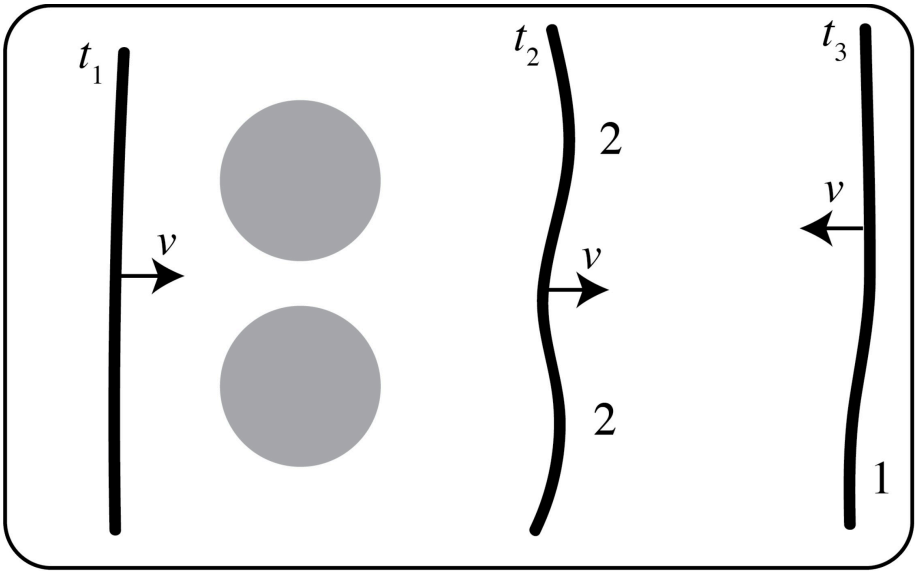
유리를 밀어 역학적으로 구동



자석 위에서 파면의 섭동으로 굴절이 관찰되고, 파면이 만날 때 간섭, 끝에서의 반사.

$$t_1 < t_2 < t_3$$

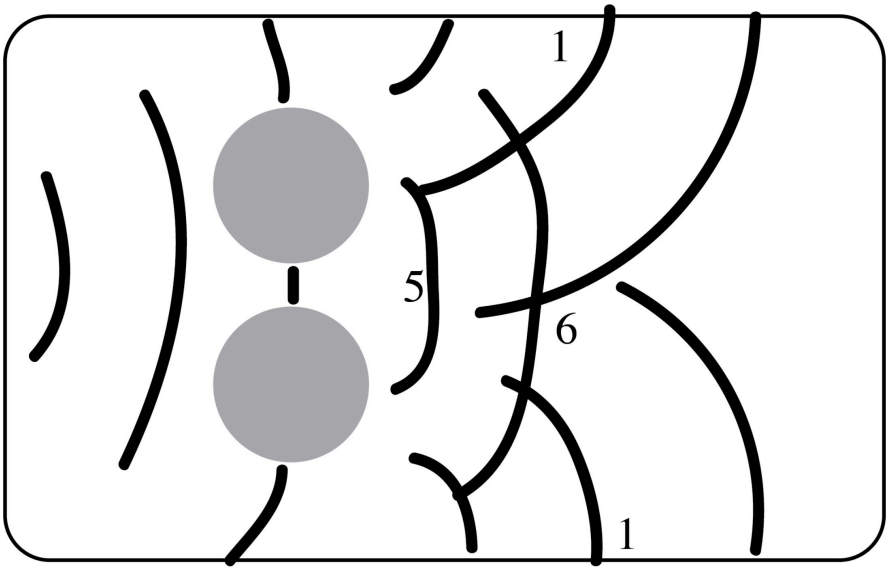
받침을 밀어 역학적으로 구동



파동이 파면 위에서 섭동되면서 굴절, 끝에서의 반사, 자석 위 덩어리 사이를 지난 뒤 약간의 회절이 있을 수 있음.

$$t_1 < t_2 < t_3$$

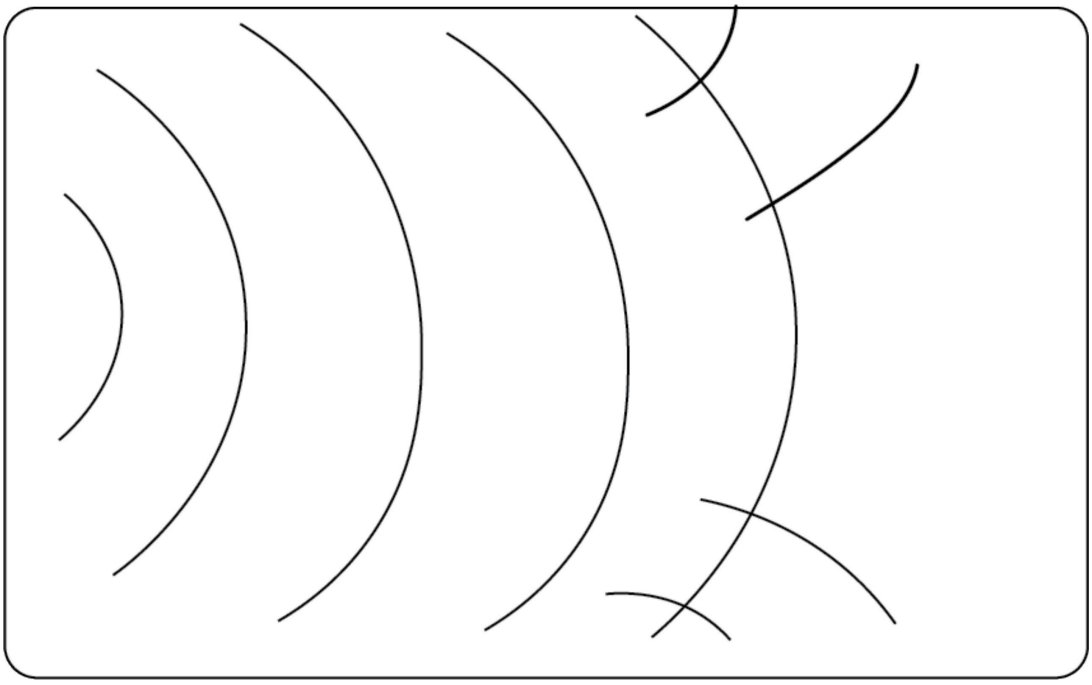
자기적으로 구동



옆벽과 끝에서의 반사, 덩어리 사이를 지난 뒤 회절, 여러 파동이 교차하면서 생기는 간섭. 각 선은 특정 프레임에서 펄스 파면의 위치를 나타낸다.

파트 D 강한 자기장 안 강자성유체의 내부 성질

D.1



자기적으로 구동된 펄스는 평면이 아니므로 용기 옆면에서 반사가 생긴다. 여러 선은 같은 펄스를 서로 다른 시각에 나타낸 것임에 유의하라.

D.2 1쪽의 첫 그림처럼 직접 조명.

자기적으로 구동된 파동의 속력 측정값은 진폭이 작은 역학적 구동 파동과 거의 같거나 다소 더 빠르다. 학생들은 펄스가 A2/3에서보다 0.1-0.4 (gr sq)/m 정도 빠름을 알아내야 한다.

그 밖에는 자료와 그림이 A2/3과 비슷해야 한다.

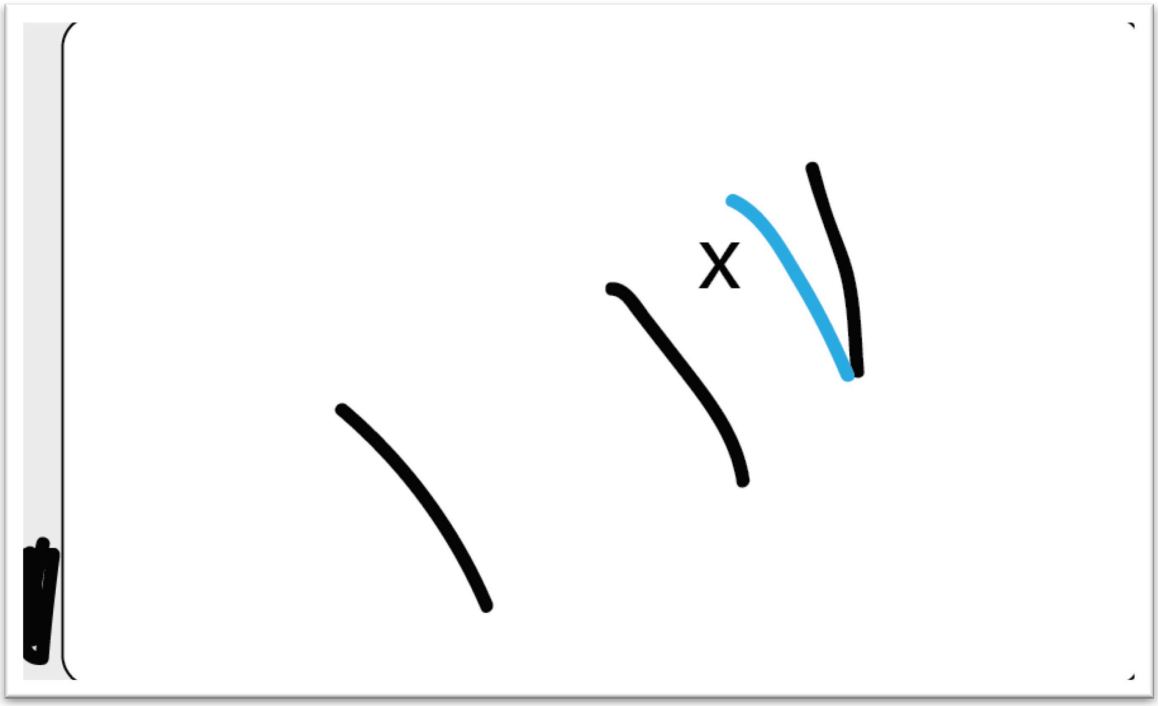




두 시각에서 y 위치를 재고 시간 차를 알면 속력을 계산할 수 있다.

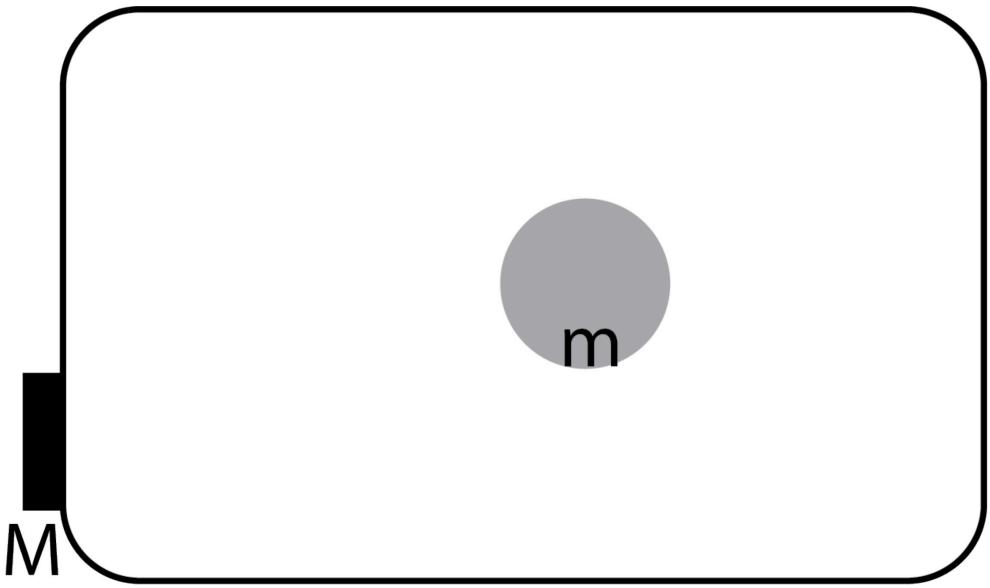
덩어리의 높이는 옆에서 관찰하거나, 더 정확하게는 E1 파트 C의 극한값을 써서 어림할 수 있다.

D.3 빛은 확산 조명 설치에 놓았다. 1쪽의 두 번째 그림을 보라.

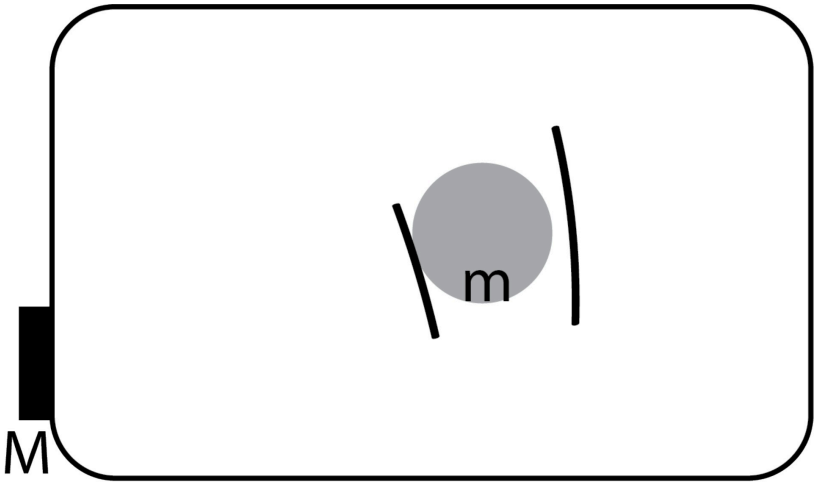


검은색은 자석 x 위에서 관찰된 펄스를 나타낸다. 파란색은 펄스가 그 거리를 진행한 뒤 기대되는 위치를 나타낸다.

D.4 확산 조명 설치를 다시 썼다.



D.5
파면이 8프레임에 걸쳐 0.8 눈금칸 더 진행하는 것이 관찰되었다. 덩어리의 크기는 지름 3cm 로 가정하고, 그 시간 동안의 추가 거리는 모두 덩어리 위에서 생긴다고 본다. 파동은 약 2프레임에 덩어리를 건넜다. 이는 파동이 덩어리 위에서 약 0.35 m/s 의 속력으로 진행함을 뜻한다.



위에 보인 두 파면은 2프레임밖에 차이 나지 않는다.
위치 측정은 파면이 더 멀리 떨어져 있을 때 했다.

D.6 덩어리의 높이는 옆에서 관찰하거나, 더 정확하게는 E1 파트 C의 극한값을 써서 어림할 수 있다. 덩어리 높이의 최선의 어림은 5mm 로 얻어진다. 깊이 9mm 유체에서 기대되는 속력은 깊이 4mm 유체에 비해 $\sqrt{\frac{9}{4}} = \frac{3}{2}$ 배 크며, 이는 $\frac{3}{2} \times 0.26 \frac{m}{s} = 0.39\ m/s$ 이다.

이는 어림값이므로, 파동 속력의 변화가 유체의 추가 깊이 말고 다른 것 때문이라고 결론지을 수 없을 만큼 충분히 가깝다.