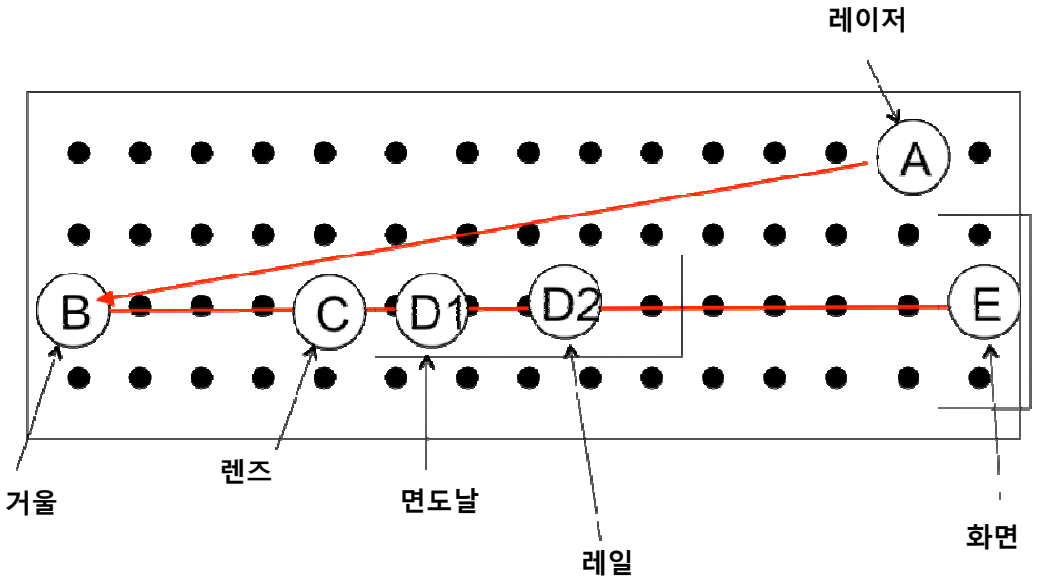
답안 양식

실험 문제 1

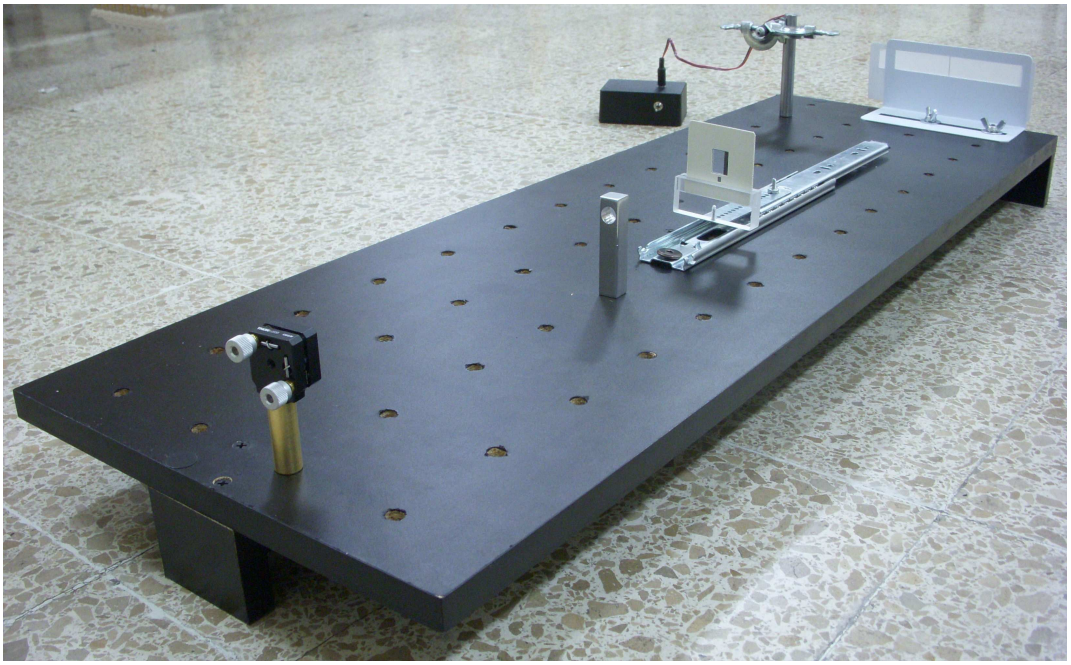
다이오드 레이저의 파장

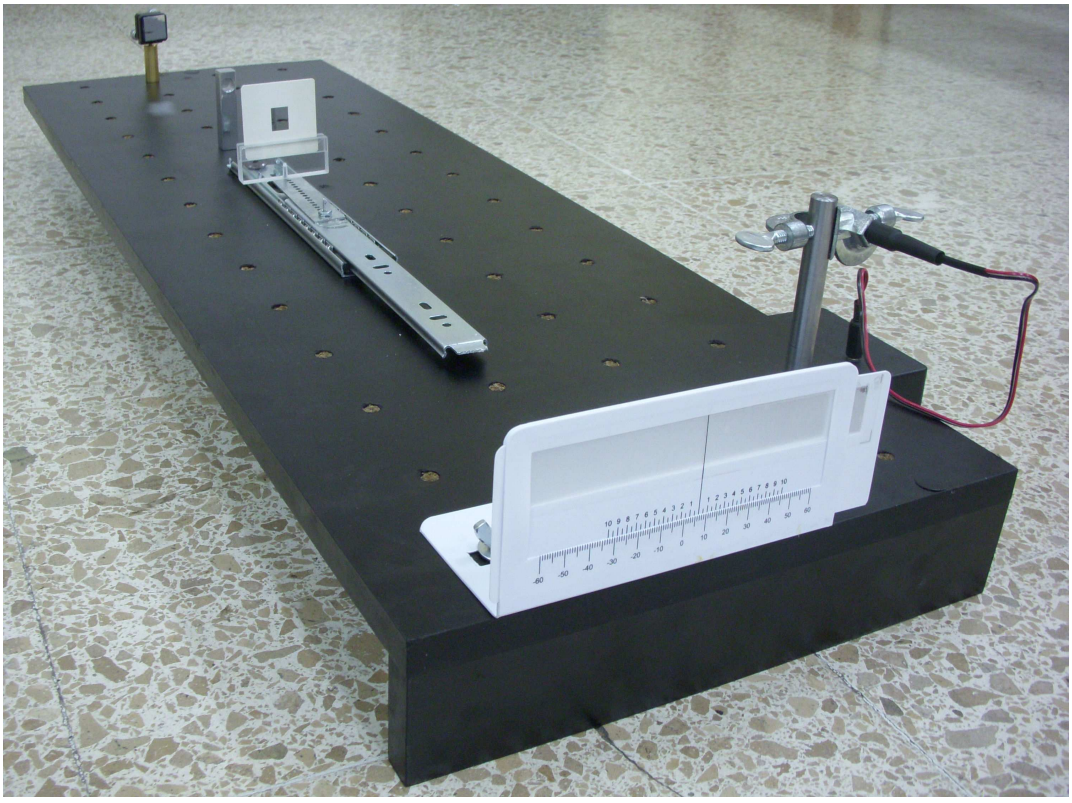
과제 1.1 실험 장치.



(0.75)

1.1	과제 1.1의 그림에 레이저 경로를 스케치하고, 빛살의 높이 h를 테이블에서 잰 값으로 적으시오. $h \pm \Delta h = (5.0 \pm 0.05) \times 10^{-2}$ m (0.25)	1.0





다이오드 레이저 파장 측정용 실험 장치

과제 1.2 광로 차의 식.

1.2	광로 차는 다음과 같다 경우 I: (0.25) $\Delta_{\mathrm{I}}(n) = (BF + FP) - BP = (L_b - L_0) + \sqrt{L_0^2 + L_R^2(n)} - \sqrt{L_b^2 + L_R^2(n)}$ $= (L_b - L_0) + L_0\sqrt{1 + \frac{L_R^2(n)}{L_0^2}} - L_b\sqrt{1 + \frac{L_R^2(n)}{L_b^2}}$ 근사 $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x$ $\approx (L_b - L_0) + L_0\left(1 + \frac{1}{2}\frac{L_R^2(n)}{L_0^2}\right) - L_b\left(1 + \frac{1}{2}\frac{L_R^2(n)}{L_b^2}\right)$ $\Rightarrow \quad \Delta_{\mathrm{I}}(n) \approx \frac{1}{2}L_R^2(n)\left(\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b}\right)$ 경우 II: (0.25) $\Delta_{\mathrm{II}}(n) = (FB + BP) - FP = (L_0 - L_a) + \sqrt{L_a^2 + L_L^2(n)} - \sqrt{L_0^2 + L_L^2(n)}$ $\approx (L_0 - L_a) + L_a\sqrt{1 + \frac{L_L^2(n)}{L_a^2}} - L_0\sqrt{1 + \frac{L_L^2(n)}{L_0^2}}$ 근사 $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x$ $\approx (L_0 - L_a) + L_a\left(1 + \frac{1}{2}\frac{L_L^2(n)}{L_a^2}\right) - L_0\left(1 + \frac{1}{2}\frac{L_L^2(n)}{L_0^2}\right)$ $\Rightarrow \quad \Delta_{\mathrm{II}}(n) \approx \frac{1}{2}L_L^2(n)\left(\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0}\right)$	0.5

과제 1.3 어두운 무늬의 위치와 면도날의 위치 재기.
필요하면 종이를 더 쓰시오.

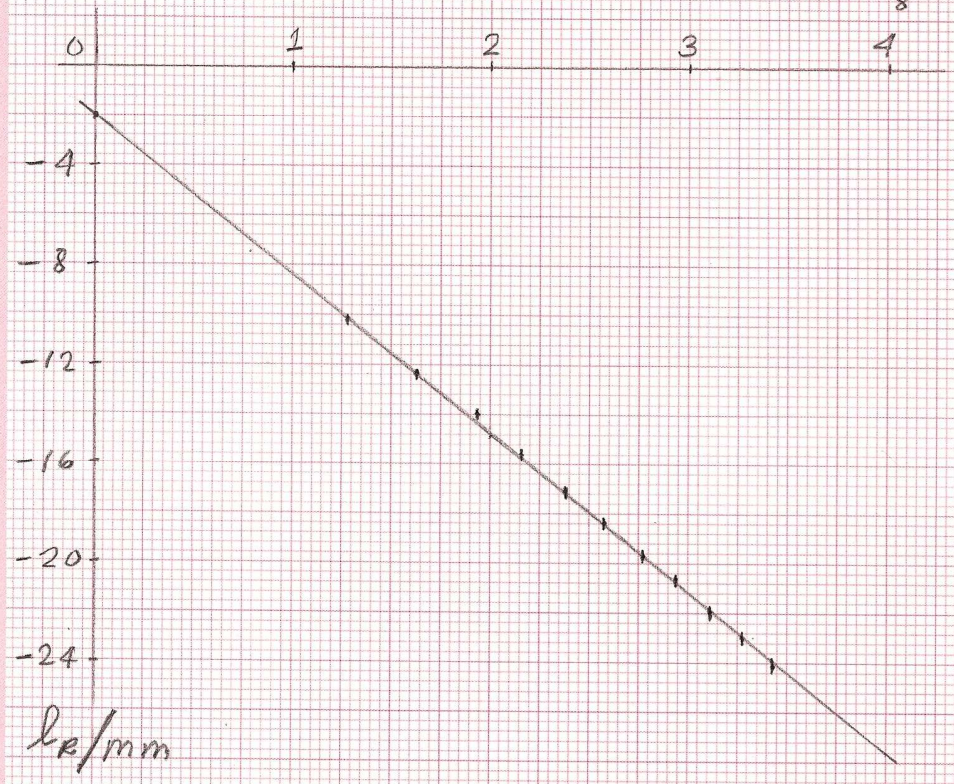
표 I

n	$(l_R(n)\pm 0.1)\times 10^{-3}$ m	$(l_L(n)\pm 0.1)\times 10^{-3}$ m	x_R	x_L
0	-7.5	1.1	0.791	0.935
1	-10.1	3.7	1.275	1.369
2	-12.4	6.4	1.620	1.696
3	-14.0	8.2	1.903	1.968
4	-15.6	10.0	2.151	2.208
5	-17.2	11.4	2.372	2.424
6	-18.4	12.2	2.574	2.622
7	-19.7		2.761	
8	-20.7		2.937	
9	-22.0		3.102	
10	-23.0		3.260	
11	-24.1		3.410	

1.3	면도날의 위치와, 더 높은 정밀도로 잰 그 차를 보고하시오: $L_b \pm \Delta L_b = (653 \pm 1) \times 10^{-3}$ m (0.25) 표지 (I) (줄자) $L_a \pm \Delta L_a = (628 \pm 1) \times 10^{-3}$ m (0.25) 표지 (I) (줄자) $d = L_b - L_a = (24.6 \pm 0.1) \times 10^{-3}$ m (0.25) 표지 (H) (캘리퍼)	3.25

Student code	Page No.	Total No. of pages

$x_R = \sqrt{n + \frac{5}{8}}$



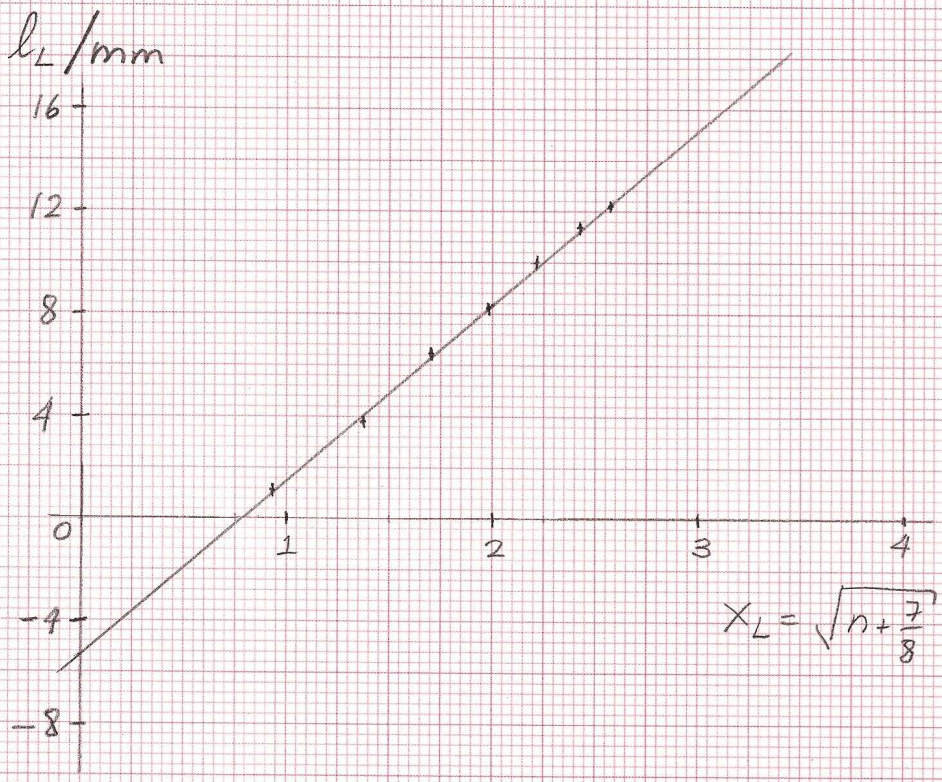
fit $l_R = m_R x_R + l_{0R}$

$m_R = (-6.39 \pm 0.07) \times 10^{-3}$ m

$l_{0R} = (-2.06 \pm 0.17) \times 10^{-3}$ m

PINK 40th International Physics Olympiad
Merida, Yucatan, Mexico, July 2009

Student code	Page No.	Total No. of pages



fit $l_L = m_L x_L + l_{0L}$

$m_L = (6.83 \pm 0.19) \times 10^{-3}$ m

$l_{0L} = (-5.33 \pm 0.36) \times 10^{-3}$ m

과제 1.4 통계 분석과 그래프 분석.

1.4	절차: 어두운 무늬의 조건과 과제 1.2로부터 다음을 얻는다 $$\frac{1}{2}L_R^2(n)\left(\frac{1}{L_0}-\frac{1}{L_b}\right)=\left(n+\frac{5}{8}\right)\lambda$$ 그리고 $$\frac{1}{2}L_L^2(n)\left(\frac{1}{L_a}-\frac{1}{L_0}\right)=\left(n+\frac{7}{8}\right)\lambda$$ (1.5)를 쓰면, $L_R(n)=l_R(n)-l_{0R}$ 그리고 $L_L(n)=l_L(n)-l_{0L}$로 다시 쓰면 $$\frac{1}{2}\left(l_R(n)-l_{0R}\right)^2\left(\frac{1}{L_0}-\frac{1}{L_b}\right)=\left(n+\frac{5}{8}\right)\lambda$$ $$\Rightarrow\quad l_R(n)=\sqrt{\frac{2L_bL_0}{L_b-L_0}\lambda}\sqrt{n+\frac{5}{8}}+l_{0R}$$ 그리고 $$\frac{1}{2}\left(l_L(n)-l_{0L}\right)^2\left(\frac{1}{L_a}-\frac{1}{L_0}\right)=\left(n+\frac{7}{8}\right)\lambda$$ $$\Rightarrow\quad l_L(n)=\sqrt{\frac{2L_aL_0}{L_0-L_a}\lambda}\sqrt{n+\frac{7}{8}}+l_{0L}$$ 이것들은 직선의 방정식 꼴로 쓸 수 있다: $y=mx+b$. 경우 I: $y_R=l_R \qquad x_R=\sqrt{n+\frac{5}{8}} \qquad m_R=\sqrt{\frac{2L_bL_0}{L_b-L_0}\lambda} \qquad b_R=l_{0R}$ 경우 II: $y_L=l_L \qquad x_L=\sqrt{n+\frac{7}{8}} \qquad m_L=\sqrt{\frac{2L_aL_0}{L_0-L_a}\lambda} \qquad b_L=l_{0L}$ 위 방정식들에 최소제곱 분석을 한다. 표 I에 적은 값은 x_R 와 x_L. 결과는 다음과 같다: $m_R\pm\Delta m_R=(-6.39\pm0.07)\times10^{-3}$ m	3.25

	$m_L \pm \Delta m_L = (6.83 \pm 0.19) \times 10^{-3}$ m 그리고 (값: l_{0R} , l_{0L}) $l_{0R} \pm \Delta l_{0R} = b_R \pm \Delta b_R = (-2.06 \pm 0.17) \times 10^{-3}$ m $l_{0L} \pm \Delta l_{0L} = b_L \pm \Delta b_L = (-5.33 \pm 0.36) \times 10^{-3}$ m 최소제곱 분석에 쓴 식: $m = \frac{N\sum_{n=1}^{N} x_n y_n - \sum_{n=1}^{N} x_n \sum_{n'=1}^{N} y_{n'}}{\Delta}$ $b = \frac{\sum_{n=1}^{N} x_n^2 \sum_{n'=1}^{N} y_{n'} - \sum_{n=1}^{N} x_n \sum_{n'=1}^{N} x_{n'} y_{n'}}{\Delta}$ 여기서 $\Delta = N\sum_{n=1}^{N} x_n^2 - \left(\sum_{n=1}^{N} x_n\right)^2$ N 은 데이터 점의 수이다. 불확도는 다음과 같이 계산한다 $(\Delta m)^2 = N\frac{\sigma^2}{\Delta}$, $(\Delta b)^2 = \frac{\sigma^2}{\Delta}\sum_{n=1}^{N} x_n^2$ 여기서, $\sigma^2 = \frac{1}{N-2}\sum_{n=1}^{N}(y_n - b - mx_n)^2$ 참고 문헌: P.R. Bevington, *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, McGraw-Hill, 1969.	

과제 1.5 λ 계산하기.

1.5	아무 기울기와 L_0 의 값으로부터 다음을 얻는다. $\lambda = \frac{L_b - L_a}{2L_aL_b}\frac{m_R^2 m_L^2}{m_R^2 + m_L^2}$ 제안대로 $d = L_b - L_a$로 바꾸면 다음과 같이 쓸 수 있다	2.0

$$\lambda = \frac{d}{2L_a L_b}\frac{m_R^2 m_L^2}{m_R^2 + m_L^2}$$

$\lambda \pm \Delta\lambda = (663 \pm 25)\times 10^{-9}$ m

불확도는 15에서 30 nm 범위일 수 있다.

파장의 정밀한 측정값은 $\lambda \pm \Delta\lambda = (655 \pm 1)\times 10^{-9}$ m.

불확도의 공식은,

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial d}\right)^2 \Delta d^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L_a}\right)^2 \Delta L_a^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L_b}\right)^2 \Delta L_b^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial m_R}\right)^2 \Delta m_R^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial m_L}\right)^2 \Delta m_L^2}$$

이로부터,

$\frac{\partial\lambda}{\partial d} = \frac{\lambda}{d}$, $\frac{\partial\lambda}{\partial L_b} = \frac{\lambda}{L_b}$, $\frac{\partial\lambda}{\partial L_a} = \frac{\lambda}{L_a}$ 그리고 $\frac{\partial\lambda}{\partial m_R} = \frac{2m_L^2}{m_R}\frac{\lambda}{m_L^2 + m_R^2}$

다른 기울기에 대해서도 마찬가지이다.

이 양들을 직접 계산할 수 있다. 그러나 다음에 주목하자.
L_a, L_b, d의 오차는 무시 가능. 또한 $m_R^2 \approx m_L^2$ 이고 $L_a \approx L_b$ 이다. 그러므로,

$\frac{\partial\lambda}{\partial m_R} \approx \frac{\lambda}{m_R} \approx \frac{\partial\lambda}{\partial m_L}$. 따라서,

$$\Delta\lambda \approx \sqrt{2}\frac{\lambda}{m_L}\Delta m_L \approx \left(25\times 10^{-9}\right) \text{ m}$$