Experiment

Q2-1

Korean (Korea (Republic of))

광학적 방법으로 시료의 공간 구조 탐구하기 (10점)

(문제에 답하려면 소프트웨어 2A~2E를 사용하시오)

I. 실험 장치

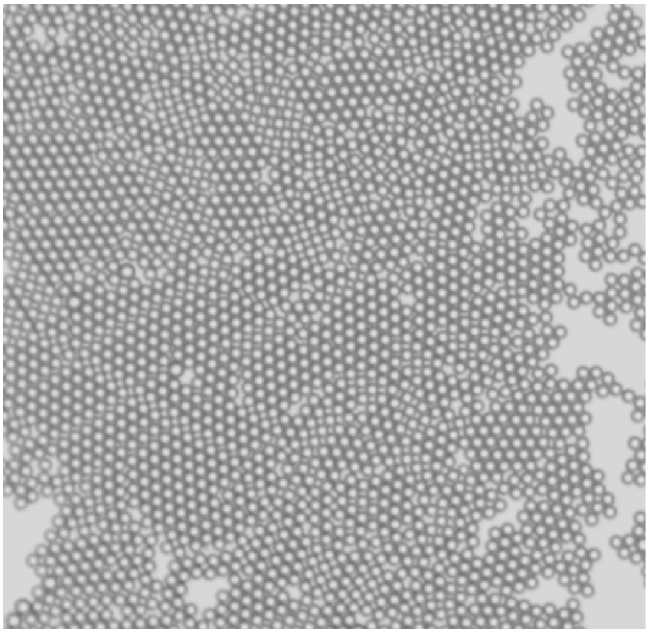


그림 1 미소구 배열의 그림

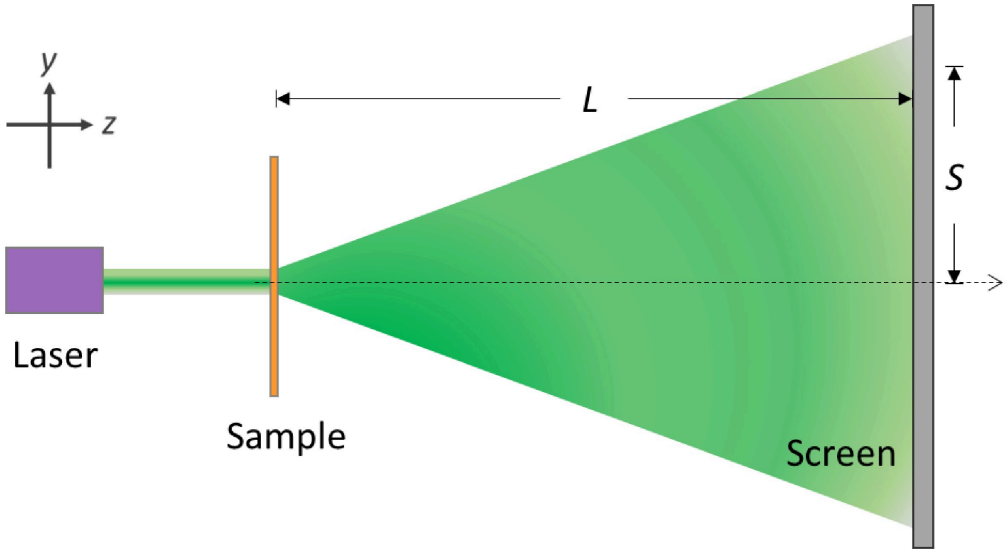


그림 2 실험 장치

Q2-2

II. 서론

미소구는 생의학 측정 분야에서 여러 응용을 가진다. 구조와 무늬가 설계된 운반체를 써서 미소구를 주입하면 관련된 광전 감지 부품을 만들 수 있다. 이 온라인 실험은 위에서 말한 실험 틀을 흉내 내어 관련된 측정을 수행하고, 미소구의 지름과 구조 무늬의 크기를 추론하여 마침내 시료의 공간 구조를 기술하는 것을 목표로 한다.

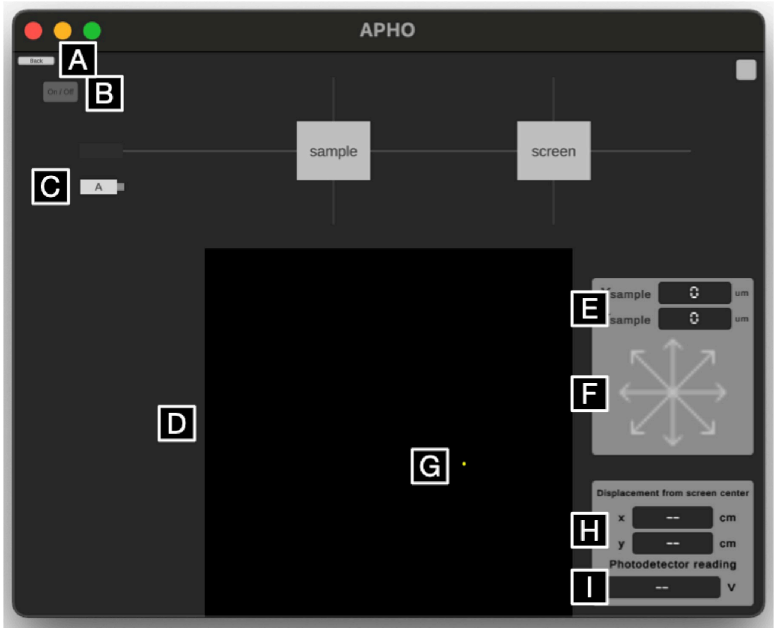
생의학 검출에 쓰이는 시료가 있다. 이 시료는 지름이 같은 투명한 유리 미소구 여러 개가 2차원 최밀 충전으로 배열되어 이루어져 있다. 미소구들은 서로 바짝 붙어 있으며 배열 방향은 어느 정도 일정하지 않다(그림 1 참고). 이 미소구들은 미소구의 지름보다 큰 크기를 가지고 회전각을 가진 직사각형 격자 배열에 채워져 있다. 이 시료의 모든 무늬 구조를 알기 위해, 이 실험 설계(그림 2 참고)는 레이저 광원으로 시료를 비추어 회절 현상을 관찰한다. 회절 무늬의 구조 분석으로부터 시료의 대칭성과 구조 크기를 알 수 있다.

Experiment

Q2-3

Korean (Korea (Republic of))

소프트웨어 사용 설명서



2A

A. 실험 개요로 돌아가기

실험 중에 이 버튼을 쓰면 모든 실험 상태와 데이터가 지워짐에 유의하라.

B. 레이저 전원 켜기/끄기

레이저가 광학 트랙 위에 있을 때 이 버튼으로 레이저 전원을 켜고 끈다. 레이저가 켜지면 트랙 위에 빛의 자취가 보인다.

C. 레이저 광원

광학 트랙 위로 끌어다 놓거나 트랙에서 치울 수 있다. 새 레이저 광원을 트랙에 놓으면 설치 진행 상황을 나타내는 “Installing” 이 표시됨에 유의하라.

D. 투영 스크린

레이저는 먼저 시료를 비춘 뒤 그 결과 생긴 무늬를 트랙 오른쪽의 스크린에 투영한다. 파트 A 실험에서 스크린은 시료로부터 50 cm 에 고정되어 있다.

E. 시료 좌표 표시

트랙 가운데에 있는 시료의 좌표 X_{sample} 과 Y_{sample} 을 100 μm 단위로 보여준다.

F. 시료 좌표 조정

클릭하여 시료의 좌표를 100 μm 단위로 조정한다. 길게 누르면 계속 움직인다. 대각선 화살표는 시료를 두 축 모두에서 100 μm 단위로 움직인다.

G. 광검출기 좌표 조정

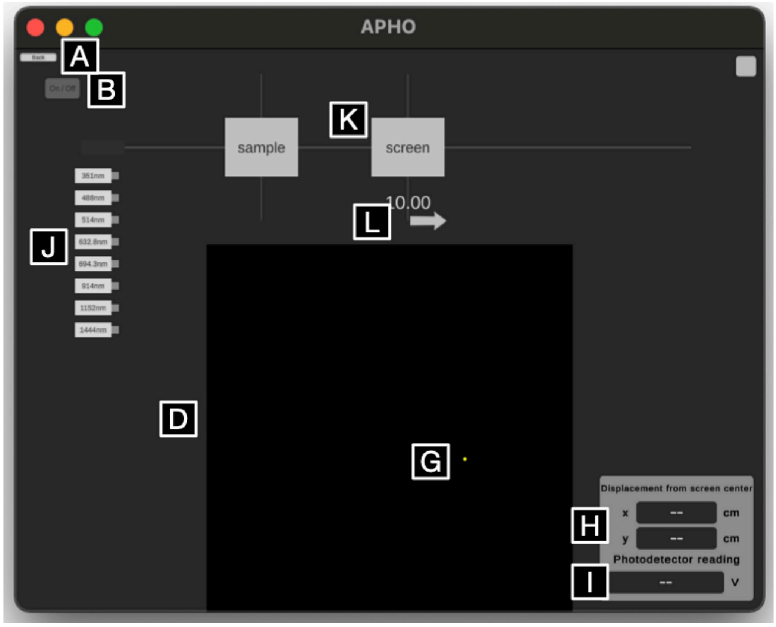
투영 스크린을 클릭하면 클릭한 지점에 광검출기가 놓인다. 키보드의 화살표 키로 위치를 미세 조정한다.

H. 광검출기 좌표 표시

원점에 대한 광검출기의 위치 (x, y) 를 0.01 cm 단위로 수치로 보여준다.

I. 광검출기 전압 표시

광검출기의 전압 읽음값을 0.01 V 단위로 보여준다. 계기의 범위는 조정할 수 없음에 유의하라.



2B - 2E

J. 여러 파장의 레이저 광원

광학 트랙 위로 끌어다 놓거나 트랙에서 치울 수 있다. 새 레이저 광원을 트랙에 놓으면 설치 진행 상황을 나타내는 “Installing” 이 표시됨에 유의하라.

K. 투영 스크린

레이저는 먼저 시료를 비춘 뒤 그 결과 생긴 무늬를 트랙 오른쪽의 스크린에 투영한다. 파트 B부터 파트 E까지의 실험에서 투영 스크린과 시료 사이의 거리는 조정할 수 있다.

L. 투영 스크린 조정

마우스로 화살표를 수평으로 끈다. 이는 투영 스크린과 시료 사이의 거리를 1.0 cm 단위로 조정한다. 조정 가능한 범위는 10.0 cm 부터 100.0 cm 까지이다.

Experiment

Q2-5

Korean (Korea (Republic of))

파트 A. 빛과 시료의 정렬 (1.0점)

레이저가 시료를 제대로 비추도록 정렬하기 위해, 빛의 보정에 이중 슬릿을 시료로 쓴다. 레이저가 제대로 정렬되어 이중 슬릿의 가운데를 비추면 스크린에 뚜렷한 간섭 무늬를 볼 수 있다. 이중 슬릿의 원래 위치는 $(X_{sample}, Y_{sample}) = (0, 0)$ 이며 그 값이 소프트웨어 화면에 표시된다. 시료의 z 위치는 고정되어 있다. x-y 평면을 따라 이중 슬릿의 위치를 충분히 조정하면 스크린에 나타난 간섭 무늬를 관찰할 수 있다. 관측자가 간섭 무늬의 올바른 간격을 정할 수 있는 이중 슬릿의 가장 좋은 위치 (X_{sample}, Y_{sample}) 를 찾으시오.

A.1	이중 슬릿 시료에 대해 가장 좋은 위치의 값 (X_{sample}, Y_{sample}) 을 정하시오.	0.5pt

A.2	가장 좋은 위치의 값에 따라, 관찰된 간섭 무늬를 그리고 1차와 2차 어두운 무늬의 위치 (x, y) 및 그 위치 (x, y) 와 원점 사이의 거리 S 를 기록하시오. 이웃한 두 어두운 무늬 사이의 간격 ΔS 를 정하시오.	0.5pt

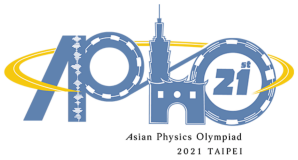
파트 B. 시료 구조 크기의 탐구 (3.0점)

계 전체의 광로가 최적으로 설정되어 있고, 레이저 위치와 시료 위치가 고정되어 있다고 가정하자. 레이저 빛의 파장 λ 와 스크린의 위치 L 만 바꾸면 스크린에서 그에 해당하는 회절 무늬를 볼 수 있다. 각 미소구 사이의 해당 거리 d 는 λ, L, S (위치 (x, y) 와 원점 사이의 거리)로 나타낸 관계식으로 정할 수 있다. 그림 1의 미소구 배열 개략도를 참고하고, 가시광 영역의 레이저 광원 세 가지를 이용하여 미소구의 지름 a 를 어림하시오.

B.1	표시된 미소구 거리 d 를 λ, L, S 로 나타내는 식을 보이시오.	0.5pt

B.2	스크린의 적절한 위치 L 을 골라, 미소구에 대한 스크린 위 회절 무늬의 좌표 (x, y) 와 어림한 거리 S 및 $\tan^{-1}\left(\frac{S}{L}\right)$ (단위: 라디안)를 가시광 영역에서 고른 세 가지 레이저 광원에 대해 기록하시오. (같은 고리 위에서 다섯 벌을 기록하여 평균 $\bar{S}$ 값을 얻으시오.)	1.5pt

B.3	식을 이용하여 각 미소구 사이의 해당 거리 d, 미소구의 지름 a, 그리고 세 레이저 광원에서의 평균 지름 $\bar{a}$ 를 어림하시오.	1.0pt



Q2-6

Korean (Korea (Republic of))

파트 C. 시료 구조 크기의 탐구 (2.5점)

이 시료는 방향각을 가진 직사각형 격자 배열을 가진다. 각 직사각형 안에는 2차원 최밀 충전 조건으로 배열된 투명한 유리 미소구가 많이 들어 있다. 스크린의 무늬에서 직사각형 격자 배열의 규칙적인 배열 때문에 생긴 십자 모양의 회절 무늬를 볼 수 있다. 실험을 위해 가시광 레이저 하나를 고르고, 회절 무늬로부터 직사각형 구조의 크기와 그에 해당하는 방향각을 이끌어 내시오.

C.1	실험을 위해 가시광 레이저 하나를 고르시오. 스크린과 시료 사이의 거리를 L = 90 cm 로 고정하고 회절 무늬를 관찰하시오. 두 축 방향에서 4차부터 7차까지 밝은 무늬의 좌표 (x, y) 를 표시하고, 그에 해당하는 거리 S 를 계산한 뒤 $\tan^{-1}\left(\frac{S}{L}\right)$ (단위: 라디안)의 해당 값을 어림하시오.	0.8pt

C.2	앞 문제의 데이터를 바탕으로 이웃한 밝은 무늬 사이의 거리 ΔS_l 과 ΔS_w 를 계산하시오. 또한 직사각형 하나의 긴 변(l)과 짧은 변(w)의 길이를 어림하시오.	0.7pt

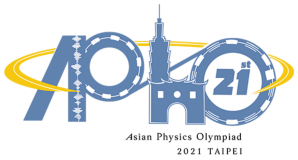
C.3	방향각 어림하기: 각을 어림하기 위해 선을 그으시오. 밝은 무늬의 좌표 (x, y) 네 개를 표시해야 한다. 수평축에 대한 직사각형 하나의 긴 변의 방향각 ϕ 를 어림하시오.	1.0pt

파트 D. 시료 구조 크기의 탐구 (2.5점)

앞 문제들처럼 가시광 영역의 입사광을 쓰면, 스크린의 십자 모양 밝은 무늬 안에 더 미세한 회절점 무늬가 있지만 알아보기 쉽지 않다. 그러므로 시료에 대해 더 뚜렷한 회절 무늬를 얻으려면 더 긴 파장의 빛이 필요하다. 적외선 레이저로 시료를 비추어 미세한 회절점 무늬를 만드시오. 적외선은 눈에 보이지 않으므로 회절점의 위치를 찾으려면 광검출기가 필요하다. 회절점 무늬로 시료의 격자 구조를 정해 보시오.

D.1	스크린 위치를 95 cm 로 두고 실험을 위해 적외선 레이저 하나를 골라, 광검출기로 스크린 위의 미세한 회절점 무늬를 찾으시오. 표에 레이저 파장과 스크린 위 4×4 개 미세 회절 밝은 점 한 벌의 중심 좌표를 적으시오. 4×4 점 무늬를 그리고, 그림에 이웃한 점 사이의 거리 ΔS_x 와 ΔS_y 를 표시한 뒤 그 값을 계산하시오.	1.9pt

D.2	적외선 실험의 결과로부터 시료 격자의 간격 d_x 와 d_y 를 정하시오.	0.6pt



Q2-7

Korean (Korea (Republic of))

파트 E. 시료 구조 크기의 탐구 (1.0점)

이 시료는 2차원 최밀 충전 조건으로 배열된 투명한 유리 미소구 여러 개로 이루어져 있으며(그림 1 참고), 특정한 회전각을 가진 직사각형 배열 격자로 덮여 있다. 미소구들은 서로 바짝 붙어 있으며 배열 방향은 어느 정도 일정하지 않다. 미소구의 규칙적인 배열 말고도 이 시료는 미소구의 지름보다 큰 다른 직사각형 배열을 가진다. 파트 C와 파트 D 문제에 따라, 회절 무늬를 관찰하여 얻은 구조 크기와 방향 정보로 시료의 구체적인 구조 무늬가 밝혀진다.

E.1	시료의 주기적 배열을 그리시오. 3×3 직사각형 배열로 나타내고, 파트 C와 파트 D의 문제에 해당하는 크기(l 과 w), 간격(d_x 와 d_y), 방향각(ϕ)을 기호 (l, w, d_x, d_y, ϕ)로 무늬에 표시하시오.	1.0pt