

VNM-8 T-1 C-1

VNM-8 T-1 C
Dao Cong Minh Trang
-

Theory

Water-Hammer Effect

Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Hiệu ứng búa nước

Mở đầu

Bài toán này nghiên cứu những thay đổi của áp suất chất lưu gây nên bởi sóng áp suất trong một ống có dòng chảy. Các nhiệm vụ được đề xuất nhằm khảo sát hiệu ứng búa nước; hiệu ứng này được gây nên bởi sự đóng chậm hoặc đóng nhanh của một cái van điều khiển dòng chảy trong một đường ống.

Ta chỉ xét các chất lỏng không nhớt và sự chảy của chất lỏng theo một chiều của không gian. Các ống và các van được giả thiết là cứng, còn các chất lỏng không phải lúc nào cũng là chất lỏng không chịu nén. Nếu một phần tử thể tích chất lỏng V_0 ở điều kiện cân bằng dưới áp suất P_0 chịu độ thay đổi áp suất ΔP , thì độ biến đổi thể tích ΔV được giả thiết là tỉ lệ với ΔP sao cho

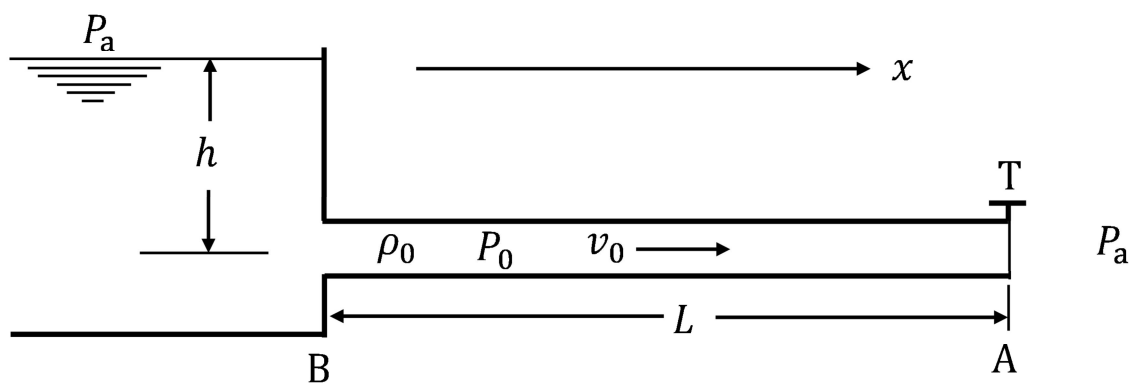
$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1)$$

Hệ số tỉ lệ B là mô đun đàn hồi của chất lỏng. Với nước, ta lấy khối lượng riêng ở điều kiện cân bằng là $\rho_0 = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ và $B = 2.2 \text{ GPa}$.

Phần A. Áp suất dư và sự lan truyền của sóng áp suất (2.2 điểm)

Trong một ống hình trụ đồng đều, độ dài L , nước chảy dừng theo chiều $+x$ với vận tốc ngang v_0 , khối lượng riêng ρ_0 , và áp suất P_0 . Như thấy trên Hình 1, ống được nối với một bình chứa ở độ sâu h và mở ra khí quyển ở áp suất P_a .

Giả sử van điều khiển dòng chảy T ở cuối ống bị đóng đột ngột, sao cho chất lỏng đi vào van chịu độ thay đổi áp suất $\Delta P_s \equiv P_1 - P_0$ và độ thay đổi vận tốc $\Delta v = v_1 - v_0$ với $v_1 \leq 0$. Điều này gây nên sóng dọc của độ dư áp suất ΔP_s truyền ngược dòng theo hướng $-x$ với tốc độ lan truyền c .



Hình 1: Dòng chảy dừng trong ống đồng đều.

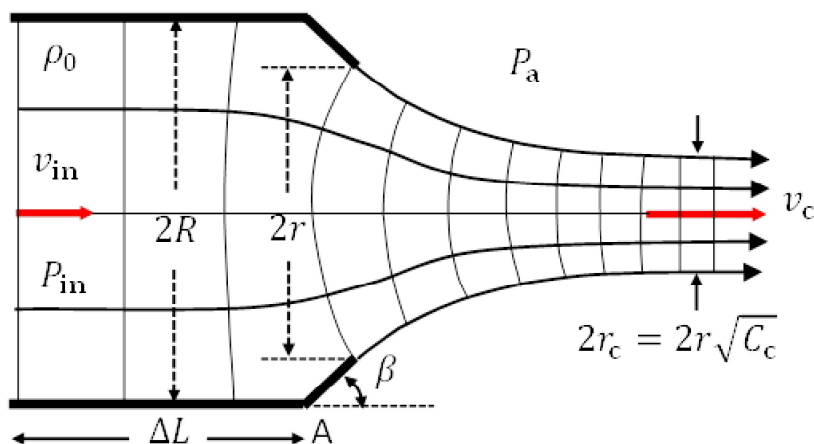
- A.1** Độ dư áp suất ΔP_s liên hệ với độ thay đổi vận tốc Δv bởi hệ thức $\Delta P_s = \alpha \rho_0 c \Delta v$. 1.6pt
Tốc độ lan truyền c được cho bởi hệ thức $c = \beta + \sqrt{\gamma B / \rho_0}$. Hãy tìm α , β , và γ .

A.2 Hãy tính các giá trị của c và ΔP_s cho trường hợp dòng nước với $v_0 = 4.0 \text{ m/s}$ và $v_1 = 0$. 0.6pt

Phần B. Một mô hình của van điều khiển dòng chảy (1.0 điểm)

Hình 2 cho thấy một mô hình của van điều khiển T và dòng chất lỏng chảy qua nó. Van là một đoạn ngắn có độ dài ΔL và bán kính trong R ở gần đầu cuối A của ống. Đầu ra của nó có dạng nón, có bán kính lỗ mở là r và mở ra khí quyển ở áp suất P_a . Ta bỏ qua tác dụng của trọng trường lên dòng chảy ra.

Chất lỏng được coi như không chịu nén và dòng chảy được coi là dừng, với phần tử chất lỏng ở đầu vào của van có vận tốc v_{in} , áp suất P_{in} , và khối lượng riêng ρ_0 . Trong Hình 2, ta vẽ các đường dòng và các pháp tuyến chỉ là để giúp có cái nhìn trực quan về dòng chảy.



Hình 2: Kích thước của van và sự co lại của tia nước.

Ta biết rằng sau khi ra khỏi van và đi vào khí quyển, tiết diện ngang của dòng chảy sẽ co lại đến khi đạt được giá trị cực tiểu, mà ở đó các đường dòng lại song song với nhau. Ở điểm cực tiểu đó, vận tốc dòng chảy là v_c và tiết diện của dòng chảy có bán kính $r_c = r\sqrt{C_c}$. Ở đây C_c , gọi là **hệ số co**, phụ thuộc vào tỉ số r/R và góc nón β như thấy trong Bảng 1.

r/R	$C_c(\beta = 45^\circ)$	$C_c(\beta = 90^\circ)$
0.00	0.746	0.611
0.20	0.747	0.616
0.30	0.748	0.622
0.40	0.749	0.631
1.00	1.000	1.000

Bảng 1. Các hệ số co của các lỗ mở

- B.1** Hãy tìm độ dư áp suất $\Delta P_{\text{in}} = P_{\text{in}} - P_a$ ở đầu vào của van mà ở đó các đường dòng song song với nhau. Biểu thị đáp án theo ρ_0 , v_{in} , r , R , và C_c . 1.0pt

Với mọi nhiệm vụ trong Phần C và Phần D, ta xét hệ bình chứa-ống như ở Hình 1 và dùng các giả thiết sau đây:

- Tốc độ lan truyền c và khối lượng riêng ρ_0 của chất lỏng được coi là không đổi và không phụ thuộc vào vận tốc dòng chảy. Áp suất khí quyển xung quanh P_a và gia tốc trọng trường g là không đổi.
- Ban đầu, van được mở hoàn toàn và dòng chảy trong ống là dừng với áp suất chất lỏng là P_0 vận tốc là v_0 .
- Như thấy trên Hình 1 và Hình 2, ống có độ dài L và bán kính R . Van T có lối ra hình tròn bán kính r thay đổi, với góc $\beta = 90^\circ$; độ dài ΔL của nó có thể bỏ qua, và do đó, ta có thể coi như lối vào của van được đặt ở điểm cuối A của ống. Ta bỏ qua tác dụng của trọng trường lên dòng chảy ra.
- Chất lỏng trong bình chứa là chuẩn tĩnh, nên áp suất P_h của chất lỏng ở gần đầu vào B của ống được giữ không đổi và ta giả thiết rằng sự biến thiên áp suất chất lỏng dọc theo ống là không đáng kể để dòng chảy luôn là một chiều trong suốt chiều dài của ống.
- Mô hình được nêu ra ở Phần B có thể được dùng để xác định độ dư áp suất $\Delta P_{\text{in}} = P_{\text{in}} - P_a$ ở đầu vào của van.

Phần C. Hiệu ứng búa nước do sự đóng nhanh của van điều khiển dòng chảy (1.8 điểm)

Xét hệ thống ống-bình chứa trong Hình 1. Khi dòng nước trong ống bị chặn do van đóng hoàn toàn hoặc một phần, xuất hiện sóng áp suất truyền ngược dòng. Sóng này phản xạ tại đầu ống nối với bình chứa, truyền ngược về phía van và lại phản xạ tại van. Thế là một sóng áp suất khác được tạo ra và quá trình vừa mô tả được lặp lại. Điều này tạo ra một chuỗi các đợt tăng và giảm áp suất đột ngột đối với phần tử chất lỏng bên cạnh van và được gọi là hiện ứng **búa-nước**.

- C.1** Xét Hình 1 and Hình 2. Hãy tính áp suất P_0 và vận tốc v_0 của dòng chảy dừng trong ống khi van T mở hoàn toàn ($r = R$). Biểu thị đáp án theo ρ_0 , g , h , và P_a . 0.6pt

- C.2** Xét cùng dòng chảy dừng như trong nhiệm vụ C.1 với áp suất P_0 và vận tốc dòng chảy v_0 . Lúc này, tại $t = 0$, van được đóng ($r = 0$) đột ngột. Sóng áp suất hướng về phía bình chứa với tốc độ lan truyền c . Lưu ý $P_h = P_0 + \rho_0 g h$. Đặt $\tau = 2L/c$. Hãy tính áp suất chất lỏng $P(t)$ và vận tốc dòng chảy $v(t)$ trong ống khi t rất gần các thời điểm $\tau/2$ và τ ? 1.2pt

Phần D. Hiệu ứng búa nước do sự đóng chậm của van điều khiển dòng chảy (5.0 điểm)

Xét cùng dòng chảy dừng như trong nhiệm vụ C.1 với áp suất P_0 và v_0 . Lúc này ta đóng van từ từ và áp dụng phương pháp bước-hữu hạn để mô phỏng quá trình đóng.

Bắt đầu tại thời điểm $t = 0$, bán kính r của van (xem Hình 2) được giảm dần trong khoảng thời gian $\tau = 2L/c$. Ngay sau mỗi bước giảm bán kính, dòng chảy trong khu vực van được coi gần đúng như dòng dừng giống như trong Phần B. Áp suất và vận tốc tại van khi đó khác với áp suất và vận tốc trong phần còn lại của dòng chảy trong ống.

Theory



VNM-8 T-1 Q-4

Q1-4

Vietnam Theory Final (Vietnam)

Đối với mỗi bước đóng n , khoảng thời gian của mỗi bước đóng và bán kính r_n của độ mở van được cho trong Bảng 2 cùng với các kí hiệu được sử dụng để biểu thị các giá trị tương ứng của áp suất chất lỏng P_n và vận tốc dòng chảy v_n tại van.

bước đóng n	khoảng thời gian của bước n	tỉ số r_n/R	áp suất tại van khi $t = (n-1)\tau$	vận tốc dòng tại van khi $t = (n-1)\tau$
$n = 0$	$t < 0$	1.00	P_0	v_0
$n = 1$	$0 \leq t < \tau$	0.40	P_1	v_1
$n = 2$	$\tau \leq t < 2\tau$	0.30	P_2	v_2
$n = 3$	$2\tau \leq t < 3\tau$	0.20	P_3	v_3
$n = 4$	$3\tau \leq t < 4\tau$	0.00	P_4	$v_4 = 0$

Bảng 2. Các bước đóng van

Coi khối lượng riêng chất lỏng ρ_0 và tốc độ lan truyền c là hằng số. Lấy $n = 0, 1, 2, 3, 4$. Ta định nghĩa $\Delta P_n = P_n - P_0$ và $\Delta v_n = v_n - v_0$. Thực hiện với điều kiện gần đúng $P_h = P_0$.

D.1 Hãy tìm phương trình biểu thị $\Delta P_n/(\rho_0 c)$ qua $\Delta P_{n-1}/(\rho_0 c)$, v_{n-1} , và v_n . Phương trình này phải đúng với mọi bước $n > 0$ nêu trong Bảng 2. Với $n = 1, 2, 3$, hãy tìm phương trình cho phép tính được v_n nếu biết đồng thời v_{n-1} và $\Delta P_{n-1}/(\rho_0 c)$. 3.0pt

D.2 Áp dụng kết quả của nhiệm vụ D.1 cho dòng nước với $v_0 = 4.0$ m/s. Hãy dùng giấy vẽ đồ thị được cung cấp trong Answer Sheet để vẽ các đồ thị ΔP theo $\rho_0 c v$. Hãy vẽ các đường thẳng và đường cong cắt nhau tại các điểm có tọa độ mà các tọa độ đó cho ta giá trị của $\rho_0 c v_n$ và ΔP_n cho các bước $n = 1, 2, 3, 4$. Trên đồ thị, hãy ghi mỗi điểm cắt $(\rho_0 c v_n, \Delta P_n)$ với giá trị n tương ứng. Từ đồ thị, hãy ước tính các giá trị của $\rho_0 c v_n$ và ΔP_n (cả hai đều theo đơn vị MPa) cho $n = 1, 2, 3, 4$. 2.0pt

VNM-8 T-2 C-1

VNM-8 T-2 C
Dao Cong Minh Trang
-

Theory Ray tracing

Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Đường truyền và sự tạo thành ánh sáng liên đới

Công thức hữu ích:

$$\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B} (\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C} (\vec{A} \cdot \vec{B})$$

Giới thiệu

Ký hiệu $\vec{E}$ là cường độ điện trường, $\vec{H}$ là cường độ từ trường, $\vec{D}$ là véc tơ cảm ứng điện, và $\vec{B}$ là véc tơ cảm ứng từ. Ta có $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, trong đó, $\vec{P}$ là độ phân cực của môi trường và ϵ_0 là hằng số điện môi của chân không. Trong bài này ta chỉ xét các môi trường không từ tính, nghĩa là $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$, với μ_0 hằng số từ thẩm của chân không. Mật độ năng lượng và mật độ dòng năng lượng liên kết với trường điện từ được cho bởi $u_{em} = \frac{1}{2}(\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{H} \cdot \vec{B})$ và véc tơ Poynting (Poynting's vector) là $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$.

Trong môi trường điện môi đồng chất, một sóng ánh sáng phẳng đơn sắc có thể được mô tả bởi tần số góc ω , véc tơ sóng $\vec{k}$, $\vec{D}$, và $\vec{B}$. Theo phương trình Maxwell, ta có $\vec{k} \times \vec{E} = \omega \vec{B}$ và $\vec{k} \times \vec{H} = -\omega \vec{D}$. Với một sóng như vậy, sự biến thiên của $\vec{D}$ và $\vec{B}$ theo vị trí $\vec{r}$ và thời gian t được cho bởi hàm sin với pha là $(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$.

Phần A. Sự truyền ánh sáng trong môi trường điện môi đẳng hướng (1,0 điểm)

Nếu môi trường là đẳng hướng, ta có $\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}$ và $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, trong đó, χ và $\epsilon = \epsilon_0(1 + \chi)$ tương ứng là độ cảm điện và hệ số điện môi của môi trường. Đối với sóng ánh sáng có tần số góc ω , trong môi trường như vậy, một pha nhất định sẽ truyền theo hướng $\vec{k}$ với vận tốc (gọi là vận tốc pha) $v_p = c/n$. Ở đây c là vận tốc ánh sáng trong chân không và n chiết suất của môi trường. Người ta cũng có thể sử dụng các tia để biểu diễn một đoàn sóng ánh sáng. Sự lan truyền của một tia sáng được đặc trưng bởi hướng và tốc độ v_r của dòng năng lượng điện từ.

Xét sóng ánh sáng phẳng có tần số góc ω và vectơ sóng $\vec{k}$ trong môi trường điện môi đồng chất và đẳng hướng.

A.1	Hãy biểu diễn vận tốc pha v_p theo ϵ và μ_0 .	0.4pt
A.2	Chiết suất n của môi trường điện môi đối với sóng là bao nhiêu?	0.2pt
A.3	Dòng năng lượng điện từ có hướng $\hat{S} \equiv \vec{S}/S$ và tốc độ v_r như thế nào?	0.4pt

Phần B. Sự truyền ánh sáng trong môi trường điện môi đơn trục (4,8 điểm)

Bây giờ chúng ta giả sử môi trường điện môi là đơn trục, tức là nó dị hướng về mặt điện dọc theo một hướng đặc biệt cố định trong môi trường, được gọi là trục quang học, ta đặt là trục z . Trong trường hợp này, véc tơ cảm ứng điện $\vec{D}$ có mối liên hệ với cường độ điện trường $\vec{E}$ là $D_x = \epsilon E_x$, $D_y = \epsilon E_y$, và $D_z = \epsilon' E_z$, trong đó, các trục x , y , và z đôi một vuông góc với nhau. Do đó, vận tốc pha của sóng ánh sáng là dị hướng và phụ thuộc thêm vào các hướng của $\vec{k}$ và $\vec{D}$. Đặt $n_o = c\sqrt{\mu_0\epsilon}$ và $n_e = c\sqrt{\mu_0\epsilon'}$, trả lời các câu hỏi sau: **B.1**, **B.2**, và **B.3**.

B.1 Giả sử vectơ sóng $\vec{k}$ của sóng ánh sáng phẳng đơn sắc nằm trong mặt phẳng xz vì vậy $\vec{k} = k(\sin \theta, 0, \cos \theta)$. Với mỗi góc θ , các hướng được phép của $\vec{D}$ và $\vec{B}$ của sóng ánh sáng là hướng nào? Tìm tất cả các chiết suất có thể có và biểu thị các chiết suất theo θ , n_o , và n_e . Tìm góc θ mà chỉ cho phép duy nhất một giá trị của chiết suất. 1.5pt

B.2 Sự phân cực của sóng ánh sáng, tức là hướng của điện trường của nó, có thể vuông góc (gọi là *sóng hoặc tia thông thường*) hoặc song song (được gọi là *sóng hoặc tia bất thường*) với mặt phẳng xz . Đối với mỗi sóng ánh sáng mà em tìm thấy trong **B.1**, hãy xác định độ phân cực của nó dưới dạng vectơ đơn vị và cho biết đó là sóng bình thường hay bất thường. Tính $\tan \alpha$, với α là góc giữa $\vec{E}$ và $\vec{D}$ (α là dương khi quay từ $\vec{E}$ tới $\vec{D}$ theo chiều kim đồng hồ). 0.8pt

B.3 Mở rộng kết quả trong phần **B.1** và **B.2** cho trường hợp tổng quát khi góc giữa $\vec{k}$ và hướng dương của trục z vẫn là θ , nhưng $\vec{k}$ không nằm trên mặt phẳng xz . Tìm tất cả các giá trị có thể có của chiết suất và sự phân cực tương ứng. 0.6pt

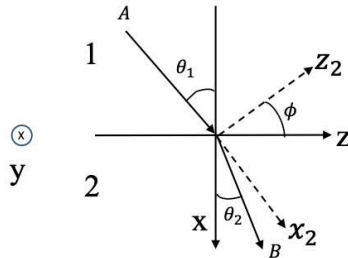
Trong môi trường đơn trục, hướng $\vec{k}$ của sóng ánh sáng có thể khác với hướng của tia sáng. Vận tốc pha của sóng vẫn được cho bởi c/n với n là chiết suất dọc theo $\vec{k}$, trong khi vận tốc tia được xác định cùng với hướng và cường độ của dòng năng lượng.

B.4 Trong phần **B.1-3** dưới đây, xét một sóng ánh sáng có $\vec{k} = k(\sin \theta, 0, \cos \theta)$. Đặt góc giữa $\hat{k} \equiv \vec{k}/k$ và hướng của tia $\hat{S}$, là α_r (α_r là dương nếu quay từ $\hat{S}$ đến $\hat{k}$ theo chiều kim đồng hồ). Tìm tất cả các giá trị có thể có của $\tan \alpha_r$, tốc độ v_r của tia và $\hat{S}$. Sử dụng kết quả này, biểu diễn chiết suất $n_s = c/v_r$ theo $\hat{S}$, $\hat{x}$, $\hat{z}$, n_o , và n_e . 0.8pt

Xét sự truyền tia sáng từ A đến B qua mặt phân cách giữa môi trường đẳng hướng, ký hiệu là 1 và môi trường dị hướng, ký hiệu là 2, như trong Hình 1. Mặt phân cách là mặt phẳng yz , còn mặt phẳng tới là mặt phẳng xz . Đặt góc tới là θ_1 . Chiết suất của môi trường 1 là n_o , chiết suất của môi trường 2 đối với các trục z_2 , y_2 , x_2 tương ứng là n_e , n_o , và n_o . trong đó, trục y_2 trùng với trục y . Nguyên lý Fermat phát biểu rằng thời gian lan truyền cho đường đi của tia sáng đi từ A đến B là nhỏ nhất. Đối với ánh sáng có phân cực song song với mặt phẳng xz và góc tới là θ_1 , Nguyên lý của Fermat dẫn đến phương trình sau:

$$\bar{A}(\tan \theta_2)^2 + \bar{B} \tan \theta_2 + \bar{C} = 0 \quad (1)$$

B.5 Tìm $\bar{A}$, $\bar{B}$, và $\bar{C}$ theo P_1 , P_2 , P_3 , và $n \sin \theta_1$, trong đó, $P_1 = n_o^2 \cos^2 \phi + n_e^2 \sin^2 \phi$, $P_2 = n_o^2 \sin^2 \phi + n_e^2 \cos^2 \phi$, và $P_3 = (n_o^2 - n_e^2) \sin \phi \cos \phi$. Từ phương trình (1), tìm giá trị $\tan \theta_2$ tương ứng với hai hướng đặc biệt: $\phi = 0$ và $\phi = \pi/2$. 1.1pt



Hình 1: Sự truyền ánh sáng từ A đến B qua mặt phân cách giữa môi trường đẳng hướng 1 và môi trường dị hướng 2.

Phần C. Sự liên đới của ánh sáng (4.2 điểm)

Trong một môi trường phi tuyến, cường độ điện trường $\vec{E}$ liên hệ với độ phân cực $\vec{P}$ bằng biểu thức $P_i = (\epsilon - \epsilon_0)E_i + \sum_j \sum_k \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k$. Trong đó, mỗi i, j, k có thể là một trong ba thành phần x, y, z , và $\chi_{ijk}^{(2)}$ là các hằng số đại diện cho độ điện cảm phi tuyến bậc hai của môi trường. Giá trị khác không của $\chi_{ijk}^{(2)}$ ngụ ý rằng khi sóng ánh sáng truyền trong môi trường phi tuyến, nó sẽ bị tách thành hai sóng.

Giả thiết rằng bởi vì $\chi_{ijk}^{(2)}$ không lấy giá trị bằng không cùng lúc, điện trường trong môi trường được tạo thành bởi sự chồng chập của ba sóng phẳng lan truyền có tần số góc ω, ω_1 , và ω_2 , theo thứ tự có các véc tơ sóng $\vec{k}, \vec{k}_1, \vec{k}_2$. Coi rằng $\omega \geq \omega_2$ và $\omega_1 \geq \omega_2$.

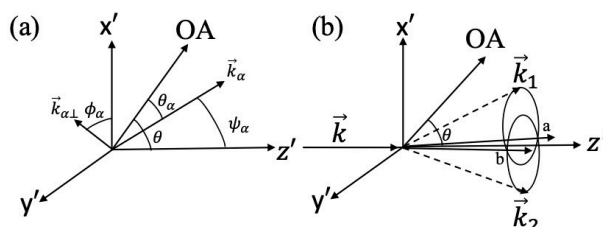
C.1 Hãy tìm các mối liên hệ khả dĩ (được gọi là *điều kiện phù hợp pha*) giữa tần số góc và véc tơ sóng. Coi ánh sáng là chùm photon, các điều kiện này ngụ ý những định luật bảo toàn nào đối với ba photon liên quan? Viết phương trình biểu diễn các định luật bảo toàn này cho trường hợp một photon có tần số góc ω và véc tơ sóng $\vec{k}$ bị tách thành hai photon có tần số góc ω_1 và ω_2 , theo thứ tự lan truyền với véc tơ sóng $\vec{k}_1$ và $\vec{k}_2$. 0.8pt

C.2 Xét một sóng ánh sáng trong môi trường đơn trục. Ta biểu thị tia thường là $\mathbf{o}$ và tia bất thường là $\mathbf{e}$. Có 8 cách tách sóng ánh sáng khả dĩ là $\mathbf{o} \rightarrow \mathbf{o} + \mathbf{o}, \mathbf{o} \rightarrow \mathbf{e} + \mathbf{o}, \mathbf{o} \rightarrow \mathbf{o} + \mathbf{e}, \mathbf{o} \rightarrow \mathbf{e} + \mathbf{e}, \mathbf{e} \rightarrow \mathbf{o} + \mathbf{o}, \mathbf{e} \rightarrow \mathbf{e} + \mathbf{o}, \mathbf{e} \rightarrow \mathbf{o} + \mathbf{e}$, và $\mathbf{e} \rightarrow \mathbf{e} + \mathbf{e}$. Giả sử rằng, các chiết suất n_o and n_e đều là hàm tăng theo ω . Sử dụng ký hiệu giống như cho véc tơ sóng ở câu hỏi C.1 và xét trường hợp mà $\vec{k}, \vec{k}_1$, và $\vec{k}_2$ là cùng phương, hãy chỉ ra cách tách nào trong 8 cách tách trên là bất khả thi. 0.8pt

Xét tia tới $\mathbf{e}$ truyền đi theo phương z' với véc tơ sóng $\vec{k}$ và $\omega = \Omega_p$ trong môi trường đơn trục với chiết suất $n_e < n_o$. Giả sử rằng, trong quá trình phân tách cùng phương $\mathbf{e} \rightarrow \mathbf{e} + \mathbf{o}$, điều kiện phù hợp pha hiện thực hoá với $k_1 = K_e, \omega_1 = \Omega_e, k_2 = K_o$, và $\omega_2 = \Omega_o$. Trong đó, các chỉ số 1 và 2 để chỉ tia $\mathbf{e}$ và tia $\mathbf{o}$. $\vec{k}_1, \vec{k}_2$ và $\vec{k}$ đều chỉ theo phương z' . Như được chỉ ra trên Hình. 2(a), trục quang học (OA) của môi trường nằm trên mặt phẳng $x'z'$ và tạo một góc $\theta < \pi/2$ với trục z' . Bởi vậy, n_e là một hàm của ω và θ , tức là, $n_e = n_e(\omega, \theta)$. Cũng như vậy với tia tới $\mathbf{e}$ với véc tơ sóng $\vec{k}$ và $\omega = \Omega_p$, giả sử sự phân tách không cùng phương thành các tia $\mathbf{e} + \mathbf{o}$ tạo thành hai hình nón với $\omega_1 = \omega_2 = \Omega, k_1 = k_2$, như quan sát thấy trên Hình 2(b). Chú ý rằng, khi phân tách cùng phương, Ω_e rất gần với Ω_o , và trong trường hợp này Ω chỉ bé hơn Ω_e một chút. Trong mặt phẳng vuông góc với $\vec{k}$, hai vòng tròn của hình nón cho $\vec{k}_1$ và $\vec{k}_2$ giao nhau ở điểm a và b với đường thẳng $\overline{ab}$ song song với trục y' . Hình 2(a) cho thấy, $\vec{k}_\alpha (\alpha = 1, 2)$ tạo với trục quang học một góc θ_α và có các tọa độ góc $(\psi_\alpha, \phi_\alpha)$ với $\vec{k}_{\alpha\perp}$ trở thành hình chiếu của nó trên mặt phẳng $x'y'$. Mỗi véc tơ $\vec{k}_\alpha$ chỉ

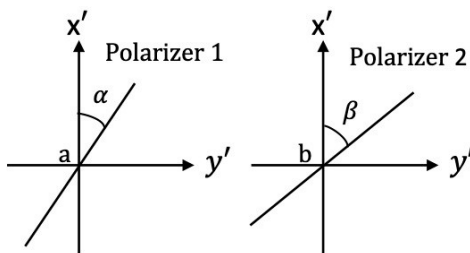
lệch đi một chút so với trục z' vì vậy, $|(\Omega - \Omega_e)/\Omega_e| \ll 1$, $|\vec{k}_{\alpha\perp}|/k_\alpha \ll 1$ và $|\theta_\alpha - \theta| \ll 1$. Sử dụng gần đúng, trong đó khai triển thành phần z' của $\vec{k}_\alpha$ đến số hạng bậc hai $k_{\alpha\perp}^2$ và góc θ_α đến $(\theta_\alpha - \theta)^2$, có thể thấy rằng $\vec{k}_{2\perp} = (q_{x'}, q_{y'})$ sẽ thỏa mãn $M(q_{x'} + N)^2 + Mq_{y'}^2 = L$.

C.3 Cho $M > 0$. Hãy tính M , N , và L theo Ω , Ω_e , Ω_o , K_e , K_o và $N_e(\omega, \theta) = \frac{1}{n_e(\omega, \theta)} \frac{dn_e(\omega, \theta)}{d\theta}$ và vận tốc nhóm $u_o = \frac{dw_2}{dk_2}$ và $u_e = \frac{dw_1}{dk_1}$ cho các tia **o** và **e**. Ước tính góc giữa các trục của hình nón và z' , và góc của hình nón theo L , M , N and K_o . 1.3pt

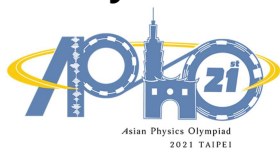


Hình 2: (a) Vector $\vec{k}_\alpha$ có tọa độ góc $(\psi_\alpha, \phi_\alpha)$ trong hệ tọa độ $x'y'z'$ với $\vec{k}_{\alpha\perp}$ là hình chiếu của nó trong mặt phẳng $x'y'$. Chú ý rằng $\vec{k}_\alpha$ tạo thành góc θ_α với OA. (b) Sự tách không cùng phương của tia $\mathbf{e}$ thành các tia $\mathbf{e} + \mathbf{o}$ tạo ra hai hình nón. Đường thẳng $\overline{ab}$ song song với trục y' .

Câu hỏi **C.3** cho thấy, một photon có thể tách thành hai photon khi đi qua hai điểm a và b sẽ bị phân cực theo các phương vuông góc. Hai photon được gọi là *cặp photon liên đới* bởi nếu một photon đi qua a (gọi là photon a) bị phân cực theo phương $\hat{x}'$, photon còn lại đi qua b (gọi là photon b) sẽ bị phân cực theo phương $\hat{y}' \perp \hat{x}'$, và nếu photon a bị phân cực theo phương $\hat{y}'$ thì photon b sẽ bị phân cực theo phương $\hat{x}'$. Cặp photon liên đới có thể được tạo ra bằng thực nghiệm. Đây là sự chồng chập của hai trạng thái nói trên và có thể biểu diễn bằng $\frac{1}{\sqrt{2}}(|\hat{x}'_a\rangle|\hat{y}'_b\rangle + |\hat{y}'_a\rangle|\hat{x}'_b\rangle)$. Trong đó, $|\hat{x}'_a\rangle|\hat{y}'_b\rangle$ là trạng thái khi photon a bị phân cực theo phương $\hat{x}'$ và photon b bị phân cực theo phương $\hat{y}'$; tương tự như vậy cho $|\hat{y}'_a\rangle|\hat{x}'_b\rangle$. Hệ số $1/\sqrt{2}$ có thể được xem như là kết quả của cường độ điện trường (biểu diễn bằng đơn vị phù hợp) của các photon a và b . Như được minh họa trên Hình 3, hai kính phân cực thẳng 1 và 2 theo thứ tự có các trục truyền qua tạo thành góc α và β với $\hat{x}'$. Ta có thể sử dụng chúng để thực hiện phép đo ngẫu nhiên trên hai photon đi qua a và b . Coi xác suất tìm thấy đồng thời hai photon đi qua kính phân cực 1 và 2 là $P(\alpha, \beta)$. Mặt khác, $P(\alpha, \beta)$ cũng có thể được coi là tỷ lệ với cường độ (sau khi chồng chập) của ánh sáng truyền qua hai kính phân cực. Ta đặt $\alpha + \pi/2$ và $\beta + \pi/2$ theo thứ tự là α và β_1 .



Hình 3: Hai kính phân cực thẳng 1 và 2 cho phép đo trùng hợp của hai photon đi qua a và b .



C.4 Xét điện trường toàn phần được chiếu bởi các phân cực tuyến tính. Tìm các xác suất $P(\alpha, \beta)$, $P(\alpha, \beta_\perp)$, $P(\alpha_\perp, \beta)$, và $P(\alpha_\perp, \beta_\perp)$. 0.8pt

C.5 Cho $\sigma_a = 1$ khi phân cực 1 với góc α tìm photon a và $\sigma_a = -1$ khi phân cực 1 với góc $\alpha_\perp$ tìm photon a . Tương tự, $\sigma_b = 1$ or -1 được đặt cho phân cực 2 với các góc β hoặc $\beta_\perp$ tìm photon b . Nếu $E(\alpha, \beta)$ là giá trị trung bình của $\sigma_a \sigma_b$, đại lượng $S = |E(\alpha, \beta) - E(\alpha, \beta')| + |E(\alpha', \beta) - E(\alpha', \beta')|$ có ý nghĩa quan trọng. Đối với lý thuyết cổ điển về ánh sáng, $S \leq 2$. Đây là một dạng biến đổi của bất đẳng thức Bell (bất đẳng thức Clauser-Horne-Shimony-Holt). Tìm biểu thức của S và ước tính S trong trường hợp $\alpha = \frac{\pi}{4}, \alpha' = 0, \beta = -\frac{\pi}{8}, \beta' = \frac{\pi}{8}$. Hãy chỉ ra nếu S phù hợp với các lý thuyết cổ điển. 0.5pt

VNM-8 T-3 C-1

VNM-8 T-3 C
Dao Cong Minh Trang
-

Theory Magnetic Levitation

Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Bay trong từ trường

Thông tin hữu ích

(1) Đạo hàm theo hướng của một hàm trong không gian $f(\vec{r})$, kí hiệu là $\vec{\nabla} f(\vec{r})$, có dạng

$\vec{\nabla} f \equiv (\hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}) f(\vec{r})$, trong đó $\frac{\partial}{\partial x} f(\vec{r})$ là đạo hàm riêng của $f(\vec{r})$ theo x khi giữ y và z không đổi.

(2) Tích phân:

$$\int_0^\infty dt \frac{(a+pt)}{[(a+pt)^2 + (b+qt)^2]^{3/2}} = \frac{1}{bp-aq} \left(\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} - \frac{q}{\sqrt{p^2+q^2}} \right).$$

Giới thiệu

Chúng ta sẽ nghiên cứu chuyển động của một lưỡng cực từ nhỏ ở vùng lân cận một màng mỏng dẫn điện. Trong bối cảnh của bài toán, thuật ngữ lưỡng cực và đơn cực tương ứng dùng để chỉ lưỡng cực từ và đơn cực từ.

Một lưỡng cực tạo bởi một nam châm vĩnh cửu hình cầu với độ từ hóa đồng đều $\vec{M}$ (mômen lưỡng cực từ trong một đơn vị thể tích) và mật độ khối lượng đồng đều ρ_0 có thể được coi như một điểm khi bán kính R của nó nhỏ. Một lưỡng cực như vậy là thích hợp khi dùng để biểu diễn từ trường tạo bởi lưỡng cực tại những điểm ở bên ngoài mặt cầu của nó. Biểu diễn đó cũng là một gần đúng tốt cho lực tác dụng lên lưỡng cực khi đặt nó trong từ trường khi khoảng cách từ nguồn của từ trường tới lưỡng cực rất lớn so với R .

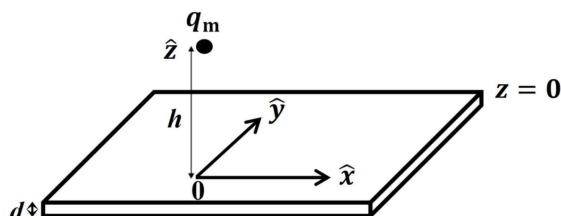
Một lưỡng cực điểm có thể xem là một cặp đơn cực từ tích âm và dương, tương ứng là $-q_m$ và q_m . Cặp đơn cực đó cách nhau một khoảng cách vô cùng nhỏ nhưng tạo ra một mômen lưỡng cực từ hữu hạn $\vec{m} = q_m \vec{\delta}_m$. Ở đây $\vec{\delta}_m$ là véc tơ độ dịch từ đơn cực nam ($-q_m$) tới đơn cực bắc ($+q_m$). Vị trí của lưỡng cực điểm được chọn là vị trí của đơn cực bắc.

Từ trường $\vec{B}_{mp}$ gây ra bởi đơn cực q_m được giả thiết có dạng Coulomb, cho bởi công thức

$$\vec{B}_{mp} = \frac{\mu_0 q_m}{4\pi r^2} \hat{r}, \quad (1)$$

trong đó $\vec{r}$ là véc tơ độ dịch từ q_m đến điểm quan sát (hoặc điểm trong trường từ), $\hat{r}$ là véc tơ đơn vị $\hat{r} = \vec{r}/r$, và μ_0 là hằng số từ. Lực gây ra bởi từ trường $\vec{B}'$ đặt vào q_m được cho bởi $\vec{F} = q_m \vec{B}'$. Theo đó, từ việc mở rộng khái niệm trường của đơn cực như mô tả trong phương trình (1), từ trường $\vec{B}$ gây ra bởi một lưỡng cực điểm có thể tính từ một thế vô hướng Φ , cho bởi công thức $\vec{B} = -\vec{\nabla} \Phi$. Thế vô hướng Φ cũng được gọi là từ thế.

Một màng mỏng dẫn điện đồng nhất có độ dày d theo phương z (Hình 1). Màng được mở rộng theo các hướng x và y ra vô hạn và mặt trên được đặt cách một khoảng h so với đơn cực điểm hoặc lưỡng cực. Chúng ta chỉ xem xét duy nhất trường hợp $h \gg d$. Từ đó ta có thể coi mật độ dòng điện cảm ứng không phụ thuộc vào z . Chúng ta cũng giả thiết có thể bỏ qua dòng điện dịch.



Hình 1. Một đơn cực q_m ở khoảng cách h so với một màng dẫn có độ dày d . Gốc tọa độ ở mặt bên trên của màng.

Bài toán được chia thành ba phần. Trong phần A, hệ bao gồm một đơn cực và một màng mỏng, trong khi đó phần B và C, gồm một lưỡng cực chuyển động và một màng mỏng.

Ta chọn mặt phẳng $z = 0$ trùng với mặt trên của màng. Véc tơ $\vec{\rho} = x\hat{x} + y\hat{y} = \rho\hat{\rho}$ là véc tơ vị trí ở trong mặt phẳng đó.

Phần A. Sự xuất hiện đột ngột của từ tích điểm: phản ứng ban đầu và phản ứng kế tiếp theo theo thời gian trong màng mỏng (3.0 points)

Chúng ta tập trung vào phản ứng ban đầu của màng mỏng dẫn điện tại thời điểm $t = 0$ một đơn cực bắc q_m đột nhiên xuất hiện tại vị trí $\vec{r}_{mp} = h\hat{z}$ ($h > 0$), như mô tả trên Hình 1. Đơn cực trên vẫn đứng yên tại những thời điểm sau đó ($t > 0$).

Quan tâm chính ở đây là từ trường toàn phần ban đầu $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ ở trong vùng $z \geq 0$ và $z \leq -d$, và dòng cảm ứng ở trong màng mỏng. Từ trường toàn phần $\vec{B} = \vec{B}_{mp} + \vec{B}'$, trong đó từ trường $\vec{B}_{mp}$ và $\vec{B}'$ tương ứng, gây ra bởi đơn cực đó và dòng cảm ứng ở trong màng mỏng. Chúng ta dùng từ trường ban đầu để chỉ $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ ở thời điểm t_0 , nằm trong khoảng $h/c \leq t_0 \ll \tau_c$. Ở đây τ_c là một thời gian không đổi đặc trưng cho phản ứng kế tiếp, và c là tốc độ ánh sáng trong chân không. Trong bài toán này chúng ta sẽ xét ở giới hạn $h/c \rightarrow 0$ và vì thế $t_0 = 0$.

Việc tính toán từ trường toàn phần ban đầu $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ (ở $t_0 = 0$) sẽ đơn giản hơn bởi việc đưa ra khái niệm đơn cực ảnh. Khi xét $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ ở trong vùng $z \geq 0$, đơn cực ảnh có từ tích q_m và được đặt tại $z = -h$. Mặt khác, khi xét $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ ở trong vùng $z \leq -d$, đơn cực ảnh có từ tích $-q_m$ và được đặt tại $z = h$.

Phản ứng ban đầu

A.1	Tìm từ trường toàn phần ban đầu $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ trong vùng $z \geq 0$ tại $t_0 = 0$.	0.4pt
A.2	Tìm từ trường toàn phần ban đầu $\vec{B}(\vec{\rho}, z)$ trong vùng $z \leq -d$ tại $t_0 = 0$.	0.2pt
A.3	Tìm từ thông ban đầu Φ_B qua các mặt phẳng $z = 0$, và $z = -d$.	0.4pt
A.4	Tìm mật độ dòng điện cảm ứng ban đầu $\vec{j}(\vec{\rho})$ ở trong màng mỏng dẫn điện tại thời điểm $t_0 = 0$.	0.6pt

Với $t > 0$, từ trường toàn phần $\vec{B}$ có dạng $\vec{B}(\vec{\rho}, z; t) = \vec{B}_{\text{mp}}(\vec{\rho}, z) + \vec{B}'(\vec{\rho}, z; t)$, do nguyên lí chồng chất, với $\vec{B}'(\vec{\rho}, z; t)$ gây ra bởi dòng điện cảm ứng trong màng mỏng. Dưới đây em được yêu cầu tìm phương trình cho $B'_z(\rho, z; t)$ ở gần mặt $z = 0$ của màng. Dạng thay đổi theo thời gian của B'_z sẽ bộc lộ một bức tranh về đơn cực ảnh chuyển động dùng để mô tả từ trường $\vec{B}'$ gần $z \approx 0$ khi $t > 0$.

Phương trình cho B'_z bên trong màng mỏng được cho dưới đây,

$$\frac{\partial^2 B'_z(\rho, z; t)}{\partial z^2} = \mu_0 \sigma \frac{\partial B'_z(\rho, z; t)}{\partial t}. \quad (2)$$

Phương trình này đã được tìm ra bằng cách áp dụng phương trình Maxwell và giả thiết Ôm bên trong màng mỏng ($\vec{j} = \sigma \vec{E}$, trong đó σ là độ dẫn điện) trong khi bỏ qua hiệu ứng dòng điện dịch. Số hạng đã được bỏ qua trong bên vế trái của phương trình (2) là $\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial B'_z}{\partial \rho} \right)$, do điều kiện $h \gg d$.

Phản ứng kế tiếp

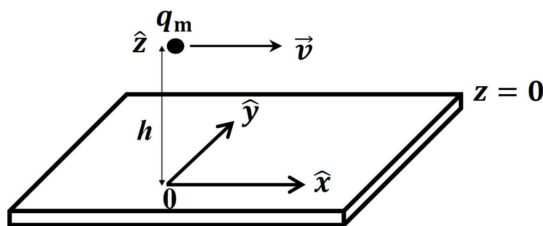
A.5 Từ phương trình (2) hãy tìm một phương trình cho $B'_z(\rho, z; t)$ ở vùng $z \approx 0$. 0.6pt
Phương trình đó chứa đạo hàm riêng bậc nhất $B'_z(\rho, z; t)$ tương ứng theo z và coi t độc lập.

A.6 Giải tìm dạng tổng quát của $B'_z(\rho, z; t)$ ở vùng $z \approx 0$ với $t > 0$. 0.4pt

A.7 Chỉ ra rằng lời giải trong **A.6** cho thấy bức tranh của một đơn cực ảnh chuyển động cho từ trường $B'_z(\rho, z \approx 0; t)$, với vận tốc hướng xuống. Tìm tốc độ v_0 của đơn cực ảnh theo các số hạng đã biết trong bài toán. 0.4pt

Phần B. Lực từ tác dụng lên một lưỡng cực điểm chuyển động với vận tốc không đổi và ở tại độ cao h không đổi (4.0 điểm)

Khái niệm đơn cực ảnh chuyển động đã được trình bày trong **A.7** cho B'_z khi $z \approx 0$ được giả thiết áp dụng được cho từ trường $\vec{B}'$ trong vùng $z \geq 0$. Giả thiết này còn đúng chừng nào phản ứng trong màng mỏng dẫn điện theo thời gian là đủ chậm.



Hình 2. Đơn cực q_m chuyển động với vận tốc không đổi $\vec{v}$ ở độ cao h không đổi so với màng mỏng dẫn điện. Hình vẽ biểu diễn các tọa độ ở $t = 0$.

Đơn cực q_m (Hình 2) do chuyển động ở vận tốc không đổi $v\hat{x}$, với $v \ll c$, ở độ cao không đổi, tại $z = h$, đến

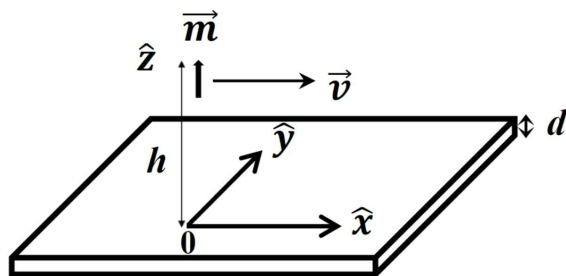
thời điểm hiện tại ($t = 0$). Các tọa độ hiện tại (x, y) của nó là $(0, 0)$. Mục đích chính là tìm từ thế Φ_+ gây ra bởi tất cả các đơn cực ảnh hình thành do chuyển động của đơn cực nói trên dọc theo quỹ đạo của nó đến thời điểm hiện tại.

Bằng việc chia quỹ đạo của q_m thành các bước thời gian rời rạc (bước thời gian nhỏ τ), ta thay chuyển động của q_m bằng bước nhảy ở thời điểm bắt đầu của mỗi bước thời gian. Việc nhảy được thể hiện là việc đồng thời loại bỏ và tạo ra các đơn cực. Vị trí của đơn cực tạo ra trùng với một điểm trên quỹ đạo của nó ngay tại thời điểm đầu của bước thời gian này. Do đó vị trí của đơn cực loại bỏ trùng với một điểm trên quỹ đạo của nó ở thời điểm đầu của bước thời gian ngay trước đó. Điều này có được nhờ sự xuất hiện đồng thời hai đơn cực từ: q_m và $-q_m$, tương ứng, ở các vị trí trên quỹ đạo ứng với thời điểm bắt đầu của bước thời gian này và bước thời gian trước đó. Khoảng cách hai vị trí này bằng bước nhảy $\Delta x = v\tau$. Cách tiếp cận theo bước thời gian tạo điều kiện thuận lợi cho việc xác định tất cả các đơn cực ảnh và vị trí của chúng được tạo ra trong tất cả các bước thời gian.

Đơn cực chuyển động

B.1 Đến thời điểm hiện tại ($t = 0$), tìm tọa độ tất cả các đơn cực ảnh loại q_m và $-q_m$. 0.8pt
Các thời điểm bắt đầu của các bước thời gian là $t = -n\tau$, với $n \geq 0$.

B.2 Tìm thế từ ở dạng tổng $\Phi_+(x, z)$ ở $t = 0$ gây bởi tất cả các đơn cực ảnh trong phần **B.1**. Tính $\Phi_+(x, z)$. 0.7pt



Hình 3. Một lưỡng cực có mômen lưỡng cực từ $\vec{m}$ hướng lên chuyển động với vận tốc không đổi $\vec{v}$ ở độ cao không đổi h so với màng mỏng dẫn điện. Hình minh họa các tọa độ của nó ở $t = 0$.

Bây giờ xét một lưỡng cực điểm chuyển động như chỉ ra trên Hình 3. Lưỡng cực có mômen lưỡng cực $\vec{m} = m\hat{z}$, chuyển động với vận tốc không đổi $v\hat{x}$, ở độ cao không đổi ($z = h$) chuyển động đến thời điểm hiện tại ($t = 0$), có tọa độ $(0, 0)$. Lưỡng cực điểm có thể coi là hai đơn cực gần nhau như đã giới thiệu ở phần Giới thiệu. Vị trí của lưỡng cực từ được chọn là vị trí của đơn cực bắc, và $\vec{m}$ được giả sử không đổi.

Lưỡng cực Chuyển động

B.3 Tìm lực $\vec{F}$ tác dụng lên lưỡng cực điểm bởi màng mỏng dẫn điện ở $t = 0$. 1.5pt

Mối quan hệ giữa v_0 và v

Tìm giá trị bằng số trong các Phần dưới đây, ta xét màng mỏng dẫn điện làm bằng đồng, với $\sigma = 5.9 \times 10^7 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, $d = 0.50 \text{ cm}$, và $h = 5.0 \text{ cm}$.

B.4 Tính giá trị của v_0 , là tốc độ của lưỡng cực ảnh theo **A.7**.

0.3pt

Độ thấm sâu δ (còn gọi là độ xuyên sâu bề mặt), được hiểu là khoảng cách mà một sóng điện từ có thể thấm vào trong một tấm dẫn điện, nó phụ thuộc vào tần số góc ω của sóng. Sự phụ thuộc này cho bởi

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \sigma}}. \quad (3)$$

Trong các phần dưới, ta lấy $\omega = v_L/h$, với v_L bằng với vận tốc lớn hơn trong hai vận tốc v và v_0 .

B.5 Tìm sự phụ thuộc vào v của $v_0(v)$ trong hai vùng v nhỏ và lớn.

0.4pt

B.6 Đưa ra vận tốc tới hạn $v = v_c$ trong hai vùng đã nêu ở **B.5**.

0.3pt

Phần C. Chuyển động của lưỡng cực từ khi màng dẫn điện là màng siêu dẫn (3.0 điểm)

Việc xem xét ở trên có thể áp dụng cho trường hợp các chất siêu dẫn loại -I, khi đó từ trường bị đẩy hoàn toàn khỏi chất siêu dẫn (Hiệu ứng Meissner) ở mọi thời điểm, bằng việc khi lấy giới hạn độ dẫn điện $\sigma \rightarrow \infty$.

Ở đây ta xét một lưỡng cực điểm có mômen lưỡng cực từ **nằm ngang** $\vec{m} = m\hat{x}$, có khối lượng M_0 , nằm ở tọa độ $(x, y, z) = (0, 0, h)$. Ta xem xét chuyển động của lưỡng cực từ theo phương thẳng đứng dưới tác dụng của trọng trường, với gia tốc trọng trường $\vec{g} = -g\hat{z}$. Giả sử tương tác giữa hướng lưỡng cực đã cho và chuyển động khối tâm của nó là yếu và có thể bỏ qua. Như vậy, ta cố định mômen của lưỡng cực từ, như đã nói ở phần trên, cho các phần xem xét bên dưới. Ngoài ra, ta giả định môi trường xét là chân không siêu cao nên không có sự cản trở chuyển động gây bởi các khí còn dư trong môi trường khi xem xét.

C.1 Xác định h_0 là khoảng cách so với màng mỏng siêu dẫn mà lưỡng cực nằm cân bằng.

1.2pt

C.2 Tìm tần số góc Ω dao động của lưỡng cực quanh vị trí cân bằng.

0.8pt

Các tham số vật lý của nam châm vĩnh cửu dạng hình cầu được cho như sau: bán kính $R = 1.0 \mu\text{m}$, khối lượng riêng $\rho_0 = 7400 \text{ kg m}^{-3}$, $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T A}^{-1}\text{m}$, và độ từ hóa $|\vec{M}| = 75 \times 10^{-2} \text{ T}/\mu_0$.

C.3 Tính giá trị h_0 .

0.7pt

C.4 Tính giá trị Ω .

0.3pt

VNM-5 E-1 C-1

VNM-5 E-1 C
Minh Hoang Le

Experiment

Elasticity of cantilever

Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Độ đàn hồi của cantilever (10 points)

Vui lòng đọc hướng dẫn chung trước khi bắt đầu vấn đề này.

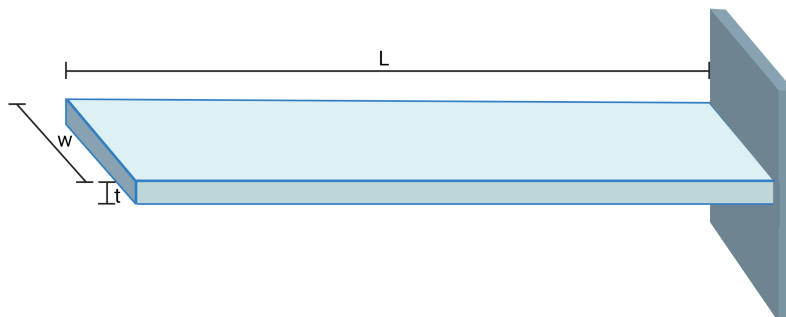
I. Giới thiệu

Dầm cantilever là một trong những kết cấu cơ khí phổ biến (xem Hình 1). Nó không chỉ được khai thác làm cấu trúc chính để chống lại sự uốn cong trong thiết kế kết cấu, mà còn thường thấy trong lĩnh vực kỹ thuật nano. Việc phân tích đáp ứng đàn hồi của dầm cantilever nano cũng như làm sáng tỏ mối quan hệ giữa ứng suất và độ biến dạng tỉ đối là rất quan trọng trong vật lý ứng dụng. Tuy nhiên, khá khó để thực hiện phép đo trực tiếp các tính chất cơ học của vật liệu nano. Không giống như phép thử lực đơn trục ở thang vĩ mô, tính chất cơ chỉ có thể đo bằng phương pháp đo vết lõm. Việc quan sát biến dạng uốn của dầm cantilever nano dưới tác dụng của một lực bằng cách sử dụng kính hiển vi lực nguyên tử hoặc vết lõm nano cho phép xác định suất Young của dầm. Phương pháp này là một trong những công cụ quan trọng nhất để đo tính chất cơ học của vật liệu ở thang vi mô.

(A)



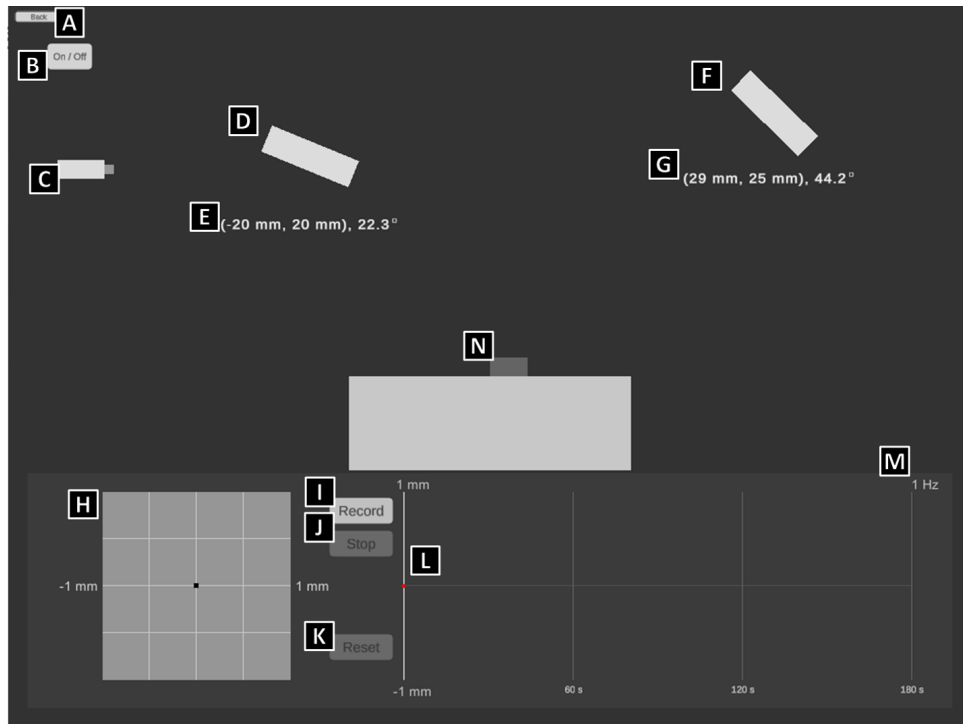
(B)



Hình 1 (A) Ảnh SEM của dầm cantilever nano (B) minh họa dầm cantilever nano, với độ dài L , độ rộng w và độ dày t .

II. Giới thiệu dụng cụ

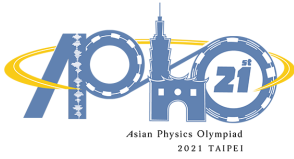
1A



Chung

- A. Quay lại trang trước
- B. Công tắc laser
- C. Bộ phát laser
- D. Reflector (bộ phản xạ): bạn có thể điều khiển thiết bị này một cách chính xác bằng cách nhấp vào các mũi tên bên cạnh nó hoặc trực tiếp kéo nó để di chuyển bằng nút chuột trái.
- E. Vị trí của gương phản xạ: tọa độ chính xác đến $1 \times 10^{-3}\text{m}$, và góc chính xác đến 0.1°
- F. Xác định vị trí PSD (Position Sensitive Detection, PSD)
- G. Vị trí của gương phản xạ: tọa độ chính xác đến $1 \times 10^{-3}\text{m}$, và góc chính xác đến 0.1°
- H. Hệ thống ghi PSD: bạn có thể điều khiển thiết bị này một cách chính xác bằng cách nhấp vào các mũi tên bên cạnh nó, hoặc trực tiếp kéo nó để di chuyển theo chiều ngang bằng chuột trái. Các ranh giới của hệ thống này nằm trong $\pm 1 \times 10^{-3}\text{m}$ cả chiều dọc và chiều ngang.
- I. Bộ ghi PSD: nút bắt đầu ghi (PSD recorder: start-recording button)
- J. Bộ ghi PSD: nút dừng ghi (PSD recorder: stop-recording button)
- K. Bộ ghi PSD: nút cài đặt lại (PSD recorder: reset-recording button)

Experiment



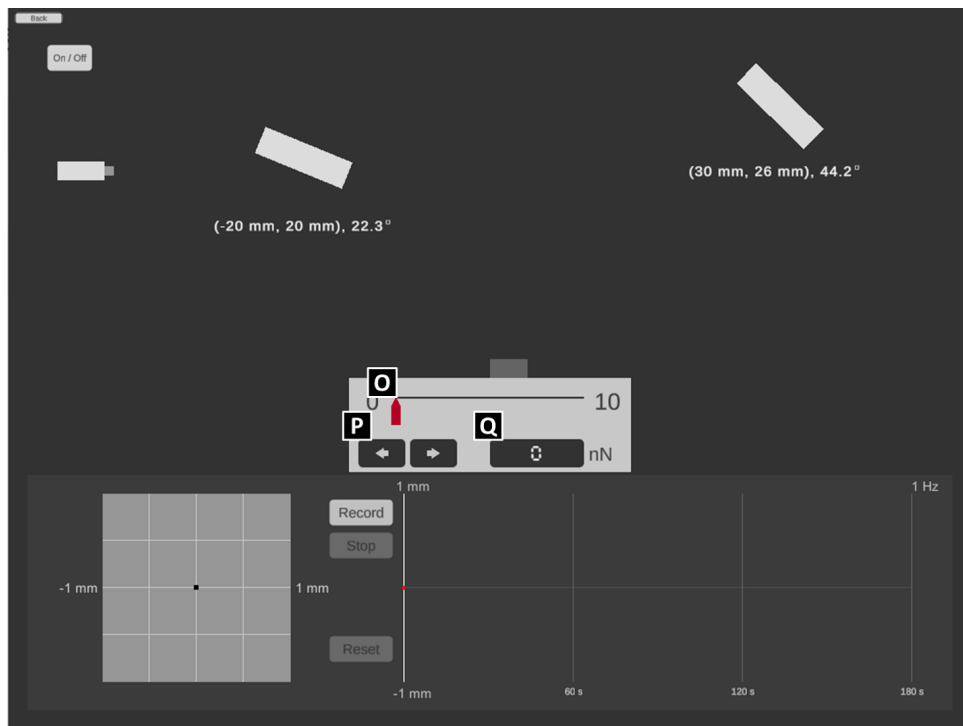
VNM-5 E-1 Q-3

Q1-3

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

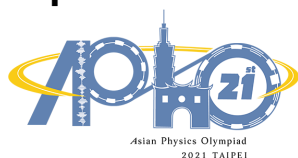
- L. Lịch sử bản ghi PSD: các giá trị đọc chính xác đến $0.0001 \times 10^{-3} \text{m}$, có thể được ghi lại với thời lượng dài nhất là 180 sec (180 s). Em có thể truy vấn dữ liệu bằng nút chuột trái trên biểu đồ hoặc bằng cách nhấp vào các phím mũi tên trên bàn phím.
- M. Tần số ghi PSD: 1 Hz
- N. Giá mang dầm nano: tọa độ tại góc trên cùng bên trái giá là (0, 0) và dầm nano sẽ được lắp đặt ở cạnh bên trái của phía trên.

1B



- O. bộ điều khiển của tải trọng điểm: bạn có thể điều khiển lực bằng cách kéo con trỏ màu đỏ để di chuyển theo chiều ngang.
- P. bộ điều khiển vi mô của tải trọng điểm: bạn có thể điều khiển lực một cách chính xác bằng cách nhấp vào các nút mũi tên bằng chuột trái.
- Q. màn hình hiển thị tải trọng điểm: độ chính xác lên đến $0.01 \times 10^{-9} \text{ N}$

Experiment

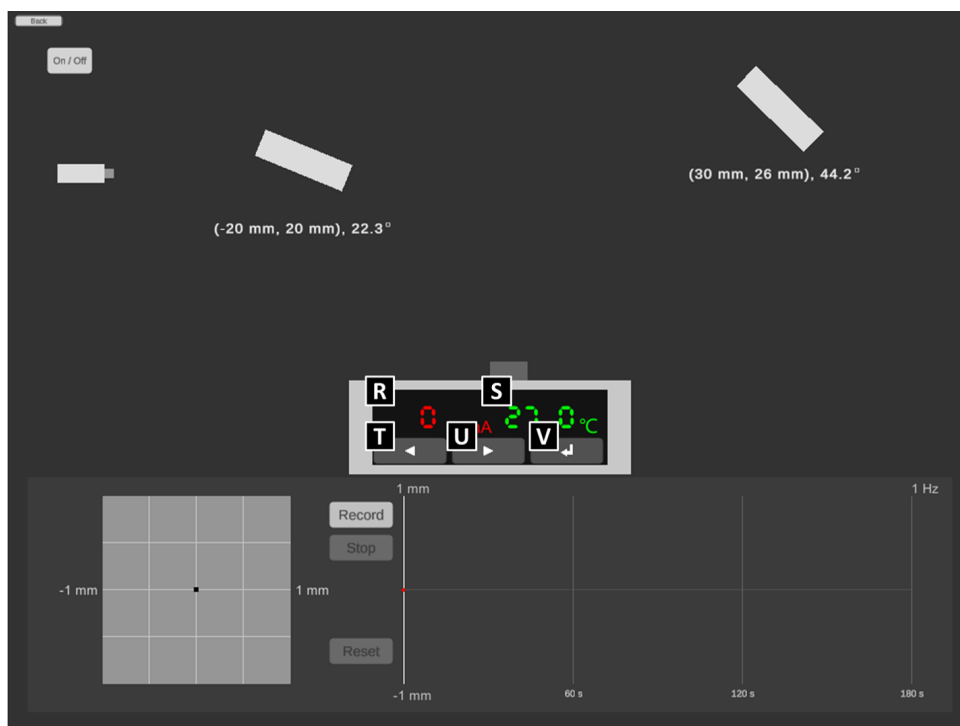


VNM-5 E-1 Q-4

Q1-4

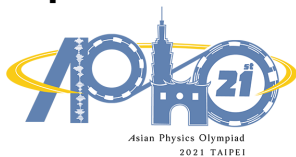
Vietnam Experiment Final (Vietnam)

1C



- R. màn hình hiển thị cường độ dòng điện của lò sưởi với độ chính xác lên đến $1 \times 10^{-3} \text{ A}$.
- S. màn hình hiển thị nhiệt độ của lò sưởi với độ chính xác lên đến 0.1° C
- T. nút để giảm dòng điện của lò sưởi: mỗi lần nhấp cho $2 \times 10^{-3} \text{ A}$
- U. nút để tăng dòng điện của lò sưởi: mỗi lần nhấp cho $2 \times 10^{-3} \text{ A}$
- V. nút để thiết lập sự thay đổi của dòng điện: xin LƯU Ý rằng thời gian làm nóng hoặc nguội mẫu liên quan dựa trên thí nghiệm thực và KHÔNG THỂ tùy ý thiết lập lại, có nghĩa là thời gian để mẫu nguội đi sẽ tăng lên nếu mẫu bị đốt nóng quá mức bởi dòng điện quá mức.

Experiment

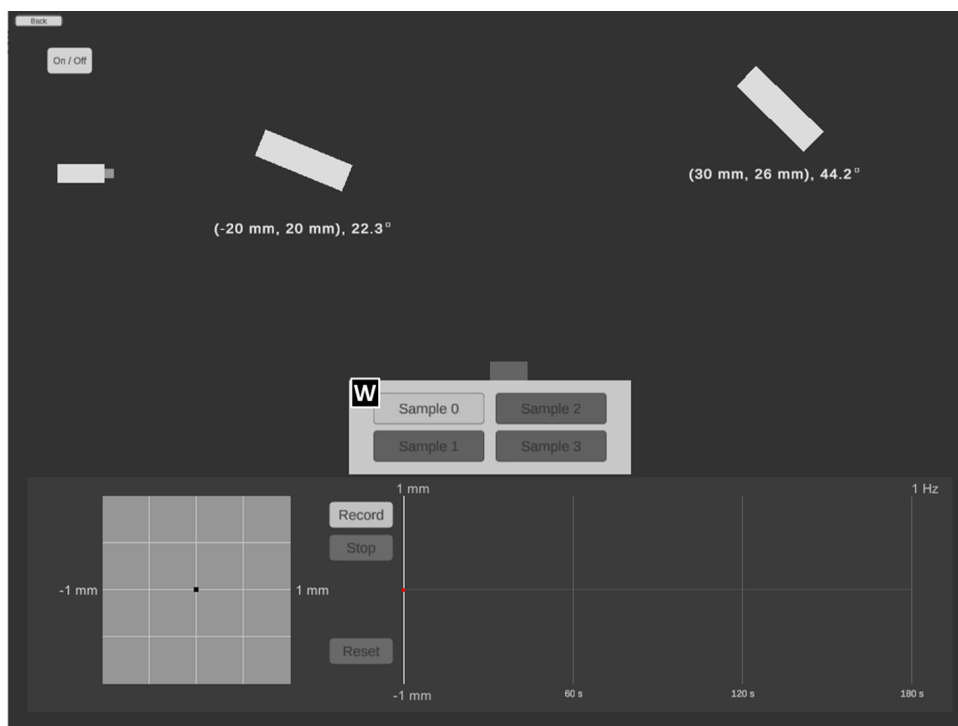


VNM-5 E-1 Q-5

Q1-5

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

1D



- W. Bộ chuyển mẫu (sample switch): chuyển đổi mẫu thử nghiệm bằng cách nhấp trực tiếp vào nó bằng nút chuột trái.

III. Thí nghiệm

Lưu ý: Hãy đảm bảo dữ liệu và câu trả lời phải được thể hiện bằng ký hiệu khoa học và đơn vị SI. Đơn vị đo chiều dài phải là mét.

Phần A. Căn chỉnh đường đi của ánh sáng

Việc đo độ lệch của dầm cantilever nano ở quy mô hiển vi (vi mô) bằng cách sử dụng trực tiếp kính hiển vi quang học không phải là một nhiệm vụ dễ dàng. Do đó, bằng cách khai thác độ truyền thẳng và độ phản xạ của tia laser, chúng ta có thể đo độ phản xạ bằng cảm biến phát hiện vị trí (PSD). Chiều dài L của cantilever nano được sử dụng trong thí nghiệm này là khoảng $100 \times 10^{-6} \text{m}$. Vui lòng sử dụng chương trình 1A và trả lời các câu hỏi **A.1** đến **A.3**.

A.1 Hãy thiết kế đường đi tia sáng sao cho vết laser chạm vào giữa vùng phản xạ của dầm cantilever. Đảm bảo điểm laser có thể xuất hiện ổn định gần điểm gốc của màn hình hiển thị PSD và vẽ vị trí tương đối (tọa độ và góc) của từng thành phần trên phiếu trả lời. 0.6pt

A.2 Vì dầm cantilever sẽ bị nhiễu khi bật thiết bị, nên có thể mất một thời gian để đạt được trạng thái ổn định. Sau khi bật thiết bị, hình ảnh vị trí của điểm sáng trên PSD và thời gian sẽ được hiển thị ở phía dưới bên phải của chương trình. Hãy ghi lại vị trí d của điểm sáng trên PSD 3 giây một lần dưới tác động nhiễu bên ngoài sau khi nhấn nút "Ghi". Vui lòng ghi lại ít nhất 40 điểm dữ liệu, sau đó nhấn nút "Dừng" để dừng thu thập dữ liệu. 0.8pt

A.3 Hãy sử dụng **đoạn ổn định** của dữ liệu thu được trong **A.2** để tìm giá trị tham chiếu phép đo của dầm cantilever này dưới sự biến động của môi trường thí nghiệm. (d là giá trị trung bình của d). 1.0pt

Lưu ý: Để thuận tiện cho phép đo, ta giả sử cantilever đã đạt đến trạng thái ổn định dưới tác động của nhiễu động môi trường, tức là sự rung động của các bộ phận quang học sẽ không ảnh hưởng đến giá trị đo.

Lưu ý: Hãy đảm bảo dữ liệu và câu trả lời phải được thể hiện bằng ký hiệu khoa học và đơn vị SI. Đơn vị đo chiều dài phải là mét.

Lưu ý: Trong phần B, không yêu cầu tính toán độ lệch chuẩn trong phân tích dữ liệu.

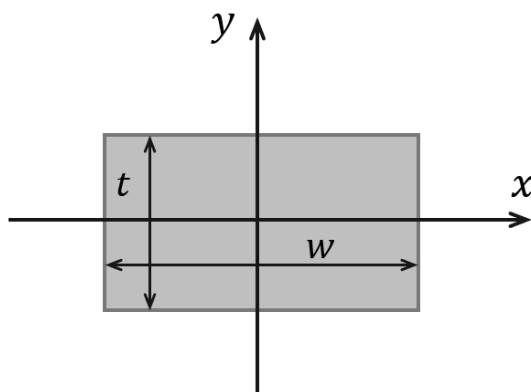
Phần B. Biến dạng của dầm cantilever và rút ra suất Young

Suất Young của vật liệu làm dầm cantilever có thể thu được bằng cách sử dụng kính hiển vi lực nguyên tử hoặc bộ thử vết lõm nano để tác dụng ngoại lực lên đầu tự do của dầm cantilever. Thông qua phép đo độ biến dạng, có thể thu được độ lớn của suất Young. Khi tác dụng một lực lên dầm cantilever nano, nếu lượng biến dạng không vượt quá giới hạn đàn hồi của vật liệu thì tương quan giữa lực và độ biến dạng của đầu tự do có thể được xây dựng như sau:

$$\delta = \frac{F L^3}{E I} \quad (1)$$

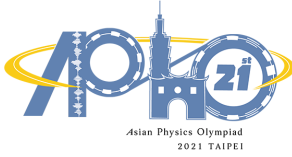
trong đó F là lực tác dụng tại điểm cuối, E là suất Young; I là mômen quán tính của tiết diện dầm đúc hằng, L là độ dài của dầm cantilever và δ là độ lớn của biến dạng uốn. Mômen quán tính I là đại lượng vật lý thể hiện ảnh hưởng của kích thước mặt cắt ngang đến biến dạng uốn của mặt cắt ngang của vật thể chịu biến dạng uốn. Giá trị của mômen quán tính có thể được tính bằng tích phân đơn giản. Như trong hình 2, có một dầm cantilever có độ cao mặt cắt là t , độ rộng là w và mômen quán tính của nó có thể được tính bằng tích phân như sau:

$$I = \int_A y^2 dA = \frac{1}{12} w t^3 \quad (2)$$



Hình 2 Minh họa sơ đồ mặt cắt ngang của dầm cantilever.

Experiment

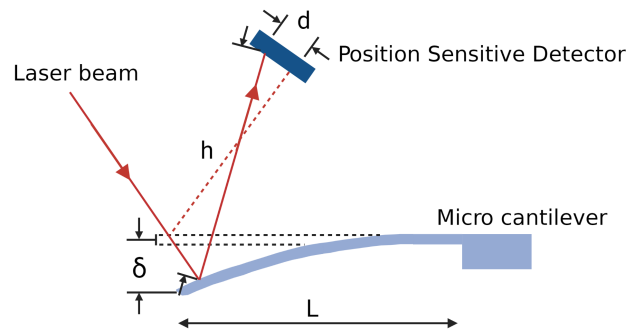


VNM-5 E-1 Q-8

Q1-8

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

Cantilever được sử dụng trong thí nghiệm này có L bằng $100 \times 10^{-6}\text{m}$, w bằng $35 \times 10^{-6}\text{m}$, bằng t là $0.20 \times 10^{-6}\text{m}$. Silic được sử dụng làm vật liệu đế và suất Young tiêu chuẩn của nó E bằng $280 \times 10^9 \text{ Pa}$.



Hình 3. Minh họa bố trí đòn bẩy quang học.

Vui lòng sử dụng chương trình 1B và trả lời các câu hỏi **B.1** đến **B.3**.

B.1 Hãy thiết kế đường đi của tia sáng khi ngoại lực bằng 0 N. Để vết laser chạm vào giữa vùng phản xạ của cantilever và đảm bảo rằng vết laser có thể xuất hiện ổn định ở gần tâm của màn hình hiển thị PSD. Ghi lại dữ liệu vào bảng để có được giá trị tham chiếu của phép đo d_0 . Vị trí của vết sáng trên PSD tại thời điểm này được đặt ứng với độ dịch chuyển $\Delta d = 0$. Sau đó tác dụng năm độ lớn khác nhau của ngoại lực lên cantilever và ghi kết quả thí nghiệm vào bảng trên phiếu trả lời. 1.0pt

B.2 Điền vào bảng. Vẽ đồ thị bằng cách lấy độ lớn của độ biến dạng uốn δ là trục y và $\overline{\Delta d}$ (trung bình của độ dịch chuyển điểm sáng $\bar{d}$ trên PSD) là trục x . 1.0pt

B.3 Từ hệ thức đòn bẩy quang học $\delta = C_1 \overline{\Delta d}$, như minh họa trong Hình 3, hãy rút ra giá trị C_1 . 0.4pt

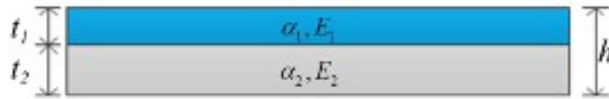
Lưu ý: Để thuận tiện cho phép đo, ta giả sử cantilever đã đạt đến trạng thái ổn định dưới tác động của nhiễu động môi trường, tức là sự rung động của các bộ phận quang học sẽ không ảnh hưởng đến giá trị đo.

Lưu ý: Hãy đảm bảo dữ liệu và câu trả lời phải được thể hiện bằng ký hiệu khoa học và đơn vị SI. Đơn vị đo chiều dài phải là mét.

Lưu ý: Trong phần C, không yêu cầu tính toán độ lệch chuẩn trong phân tích dữ liệu.

Phần C. Dầm cantilever hai lớp

Dầm Cantilever hai lớp là cấu trúc thường được sử dụng trong kỹ thuật nano (Ví dụ như bo mạch in IC hoặc phanh nano). Nó được cấu tạo bởi hai lớp vật liệu khác nhau, có độ dẫn nở nhiệt khác nhau khi bị nung nóng. Lí thuyết dầm của Timoshenko xét sự chênh lệch của các độ cứng uốn. Hình 4 mô tả dầm cantilever gồm hai lớp, có độ dày t_1 và t_2 , có hệ số dẫn nở nhiệt α_1 và α_2 , suất Young E_1 và E_2 .



Hình 4. Sơ đồ minh họa dầm cantilever hai lớp vật liệu.

Theo lý thuyết dầm, độ biến dạng tỉ đối của hai lớp đó có thể được viết như sau:

$$\gamma_1 = \alpha_1 \Delta T + \frac{P_1}{w t_1 E_1} + \frac{t_1}{2r} \quad (3)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 \Delta T + \frac{P_2}{w t_2 E_2} + \frac{t_2}{2r} \quad (4)$$

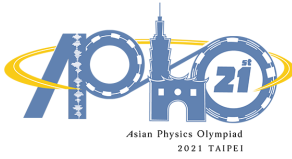
trong đó, P_i là lực tổng hợp, ΔT là độ chênh lệch nhiệt độ, w là độ dày, r là bán kính cong. Hợp lực cần được cân bằng như được thấy trên Hình 4. Mối liên hệ giữa mô men tổng hợp M và hợp lực P_i được viết như sau:

$$M = \sum_i P_i \frac{h}{2} \quad (5)$$

Mô men tổng hợp M có thể được biểu diễn dưới dạng một hàm của độ cứng uốn $E_i I_i$ và bán kính cong r , như sau:

$$M = \sum_i \frac{E_i I_i}{r} \quad (6)$$

Experiment



VNM-5 E-1 Q-10

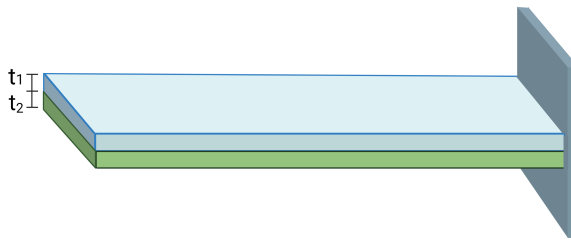
Q1-10

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

E_i là suất Young và I_i mô men quán tính. Điều kiện biên đòi hỏi rằng độ biến dạng tỉ đối là liên tục, tức là $\gamma_1 = \gamma_2$. Từ điều kiện biên này, ta thu nhận được phương trình sau:

$$\kappa = \frac{1}{r} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)(T - 300)}{\frac{2}{hw} \left(\frac{t_1 E_1 + t_2 E_2}{t_1 E_1 t_2 E_2} \right) (E_1 I_1 + E_2 I_2) + 0.5h} \quad (7)$$

$$\delta = \kappa L^2 \quad (8)$$



Hình 5: Dầm hai lớp (lớp bên trên là kim loại X. Lớp bên dưới là Silic)

Cấu tạo của dầm hai lớp được trình bày trên Hình 5. Các tham số của thí nghiệm này như sau $L = 100 \times 10^{-6}$ m, $w = 35 \times 10^{-6}$ m, $t_2 = 0.2 \times 10^{-6}$ m, $t_1 = 0.04 \times 10^{-6}$ m, các hệ số dẫn nở nhiệt α_1, α_2 bằng $14.2 \times 10^{-6}/K$ và $0.8 \times 10^{-6}/K$; mô men quán tính I_1, I_2 bằng 1.867×10^{-28} m⁴ và 2.333×10^{-26} m⁴. Lớp bên dưới là đế silic, suất Young E của silic là 280×10^9 Pa.

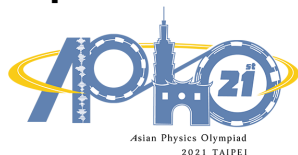
Hãy sử dụng chương trình 1C và trả lời các câu hỏi **C.1** đến **C.3**.

C.1 Em hãy thiết kế sơ đồ thí nghiệm đơn giản với đường đi tia sáng. Hãy để chùm laser hiển thị gần trung tâm của khu vực phản xạ. Ghi lại dữ liệu ở nhiệt độ phòng, và tìm giá trị tham chiếu d_0 , và sử dụng giá trị này khi $\Delta d = 0$. Sau đó, tăng nhiệt độ lên giá trị cao hơn, hãy đợi cho đến khi dầm hai lớp ổn định rồi ghi lại dữ liệu. Cố gắng thực hiện ở ít nhất 5 nhiệt độ khác nhau và ghi lại dữ liệu vào bảng của phiếu trả lời. 1.0pt

C.2 Điền vào bảng. Vẽ đồ thị bằng cách lấy độ lớn của độ biến dạng uốn δ làm trục y và nhiệt độ T làm trục x . Bằng cách phân tích dữ liệu, hãy tìm độ dốc. Em có thể dùng mối tương quan giữa δ và Δd , 1.0pt

C.3 Sử dụng dữ liệu thu được từ **C.2** để tính suất Young cho lớp vật liệu phía trên. 0.6pt

Experiment



VNM-5 E-1 Q-11

Q1-11

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

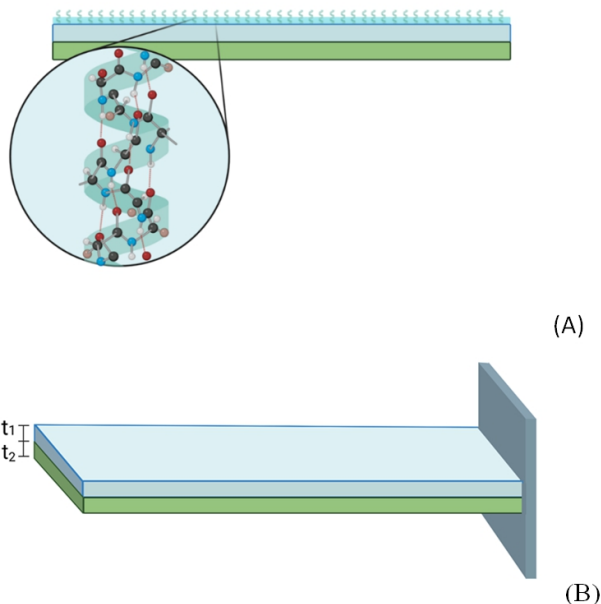
Lưu ý: Để thuận tiện cho phép đo, ta giả sử cantilever đã đạt đến trạng thái ổn định dưới tác động của nhiễu động môi trường, tức là sự rung động của các bộ phận quang học sẽ không ảnh hưởng đến giá trị đo.

Lưu ý: Đảm bảo rằng số liệu và câu trả lời phải được biểu diễn bằng ký hiệu khoa học và đơn vị SI. Đơn vị chiều dài phải là mét.

Lưu ý: Trong phần D, việc tính toán độ lệch chuẩn trong phân tích dữ liệu là không cần thiết.

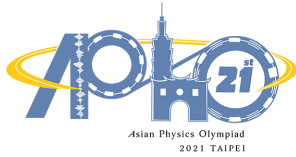
Phần D. Kiểm tra độ uốn cong của dầm cantilever được gây nên bởi sự hấp thụ phân tử

Một dầm cantilever tổ hợp không những có thể được sử dụng như một bộ truyền động nano mà còn là một cảm biến nano. Ví dụ, Hình 6 cho thấy một cảm biến nano protein bao gồm một dầm cantilever hai lớp, mà trên bề mặt được tích hợp với các kênh vi lưu và được phủ bằng một lớp protein. Khi một protein sinh học khác được hấp thụ lên cantilever thì do các tương tác Van-der waal giữa các phân tử, lớp protein dính vào có thể gây nên ứng suất bề mặt mà phân bố của nó đặc trưng cho từng loại protein, và do đó có thể được phát hiện bằng độ cong của dầm.



Hình 6 (A) Một dầm cantilever hai lớp, được sử dụng làm cảm biến nano. Lớp bên trên được phủ một lớp protein. (B) Sơ đồ (không theo đúng tỷ lệ kích thước) của cấu trúc cantilever, ở đây, lớp bên trên được chế tạo bằng kim loại X, lớp bên dưới bằng Silic.

Experiment



VNM-5 E-1 Q-12

Q1-12

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

Một sơ đồ của dầm cantilever hai lớp được sử dụng trong thí nghiệm được minh họa trên Hình 6(B). Độ dài L là khoảng $\sim 100 \times 10^{-6}$ m, $w \sim 35 \times 10^{-6}$ m, $t_2 \sim 0.2 \times 10^{-6}$ m, và $t_1 \sim 0.04 \times 10^{-6}$ m. Lớp bên dưới là đế Silic. Suất Young của Silic là 280×10^9 Pa. Tỷ số phủ (CR) là ~ 0 cho Mẫu 0, $\sim 1\%$ cho Mẫu 1. Em có thể bỏ qua ảnh hưởng của độ dày và suất Young của lớp phân tử được phủ lên cantilever do có khối lượng nhỏ và tỷ số phủ CR bé. Giả sử độ cứng uốn hiệu dụng $EI^* \approx 1.84 \times 10^{-13}$ N·m². Em hãy sử dụng chương trình 1D và trả lời câu hỏi **D.1** đến **D.4**.

D.1 Thiết kế một đường đi tia sáng cho mẫu 0, sao cho vết laser phản xạ nằm ở trung tâm của vùng phản chiếu, tức là vết laser xuất hiện ổn định ở gốc của màn hình PSD. Ghi lại giá trị cơ bản d_0 đo được vào bảng dữ liệu. Độ dịch chuyển Δd được đặt bằng không, $\Delta d = 0$ ở vị trí này. Tiếp theo lặp lại thí nghiệm với Mẫu 1. Ghi lại kết quả vào các bảng của bảng dữ liệu. Lưu ý rằng Mẫu 1 có tỷ số phủ (CR) cao nhất trong các mẫu. 0.6pt

D.2 Giả sử rằng dạng hàm của độ lớn biến dạng uốn δ và tỷ số phủ (CR) có thể được biểu thị bằng hệ thức: $\delta = C_2 \frac{CR}{EI^*} L^4$. Hãy ước tính C_2 dựa trên dữ liệu của mà em thu được từ **D.1**. Em có thể sử dụng mối tương quan giữa δ và Δd trong **B.3**. 0.6pt

D.3 Sử dụng Mẫu 2 và Mẫu 3, có cùng loại phân tử nhưng khác nhau về hệ số phủ CR . Hãy đo độ dịch chuyển của vết laser Δd trên PSD cho cả hai mẫu. Điền các câu trả lời vào bảng dữ liệu 0.8pt

D.4 Hãy ước tính CR của Mẫu 2 và Mẫu 3 (biểu thị theo %). 0.6pt

VNM-4 E-2 C-1

VNM-4 E-2 C
Quang Vinh Tran

Experiment Spatial structure

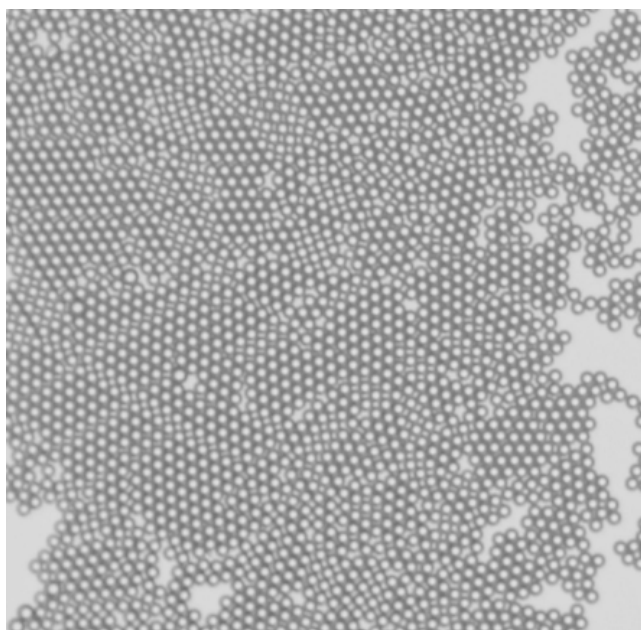
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

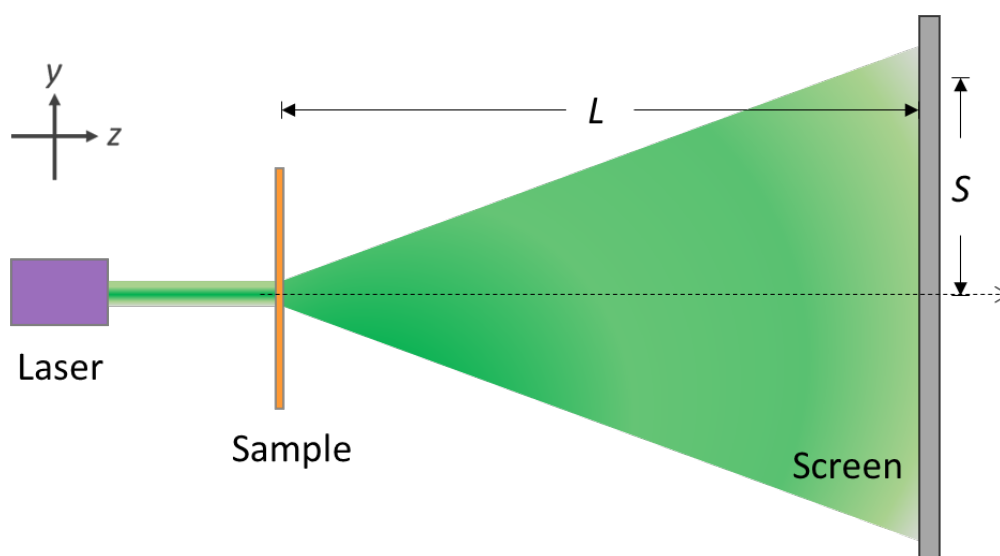
Khám phá cấu trúc không gian của mẫu bằng các phương pháp quang học (10 điểm)

(Sử dụng phần mềm 2A đến 2E để trả lời các câu hỏi)

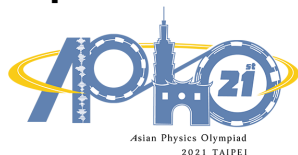
I. Bố trí thí nghiệm



Hình 1. Hình minh họa sự sắp xếp của các vi cầu



Hình 2. Bố trí thí nghiệm

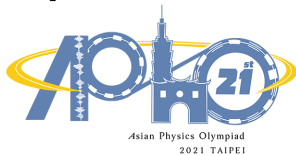


II. Giới thiệu

Các vi cầu có rất nhiều ứng dụng trong lĩnh vực đo lường y sinh. Việc sử dụng bộ mang (carrier) có cấu trúc và thiết kế vùng (pattern) để đưa vào các vi cầu có thể được sử dụng để chế tạo các bộ phận nhạy quang điện. Thí nghiệm trực tuyến này nhằm mục đích mô phỏng lại thí nghiệm nói trên, thực hiện các phép đo liên quan, tìm ra đường kính của vi cầu, kích thước cấu trúc vùng và cuối cùng là mô tả cấu trúc không gian của mẫu.

Có một mẫu được sử dụng để phát hiện y sinh. Mẫu này được tạo thành từ nhiều vi cầu thủy tinh trong suốt có cùng đường kính, được sắp xếp chặt trong một cấu trúc hai chiều. Các vi cầu nằm sát nhau theo từng vùng, và có hướng sắp xếp các vùng bằng cách nào đó không nhất quán (xem Hình 1). Các vi cầu được lấp đầy trong từng vùng hình chữ nhật có kích thước lớn hơn đường kính của vi cầu với góc lệch nào đó. Để biết tất cả các cấu trúc vùng của mẫu này, thiết kế thí nghiệm (như hình 2) sử dụng nguồn sáng laser chiếu vào mẫu và quan sát hiện tượng nhiễu xạ. Từ phân tích cấu trúc của vân nhiễu xạ, có thể biết được độ đối xứng và kích thước cấu trúc của mẫu.

Experiment

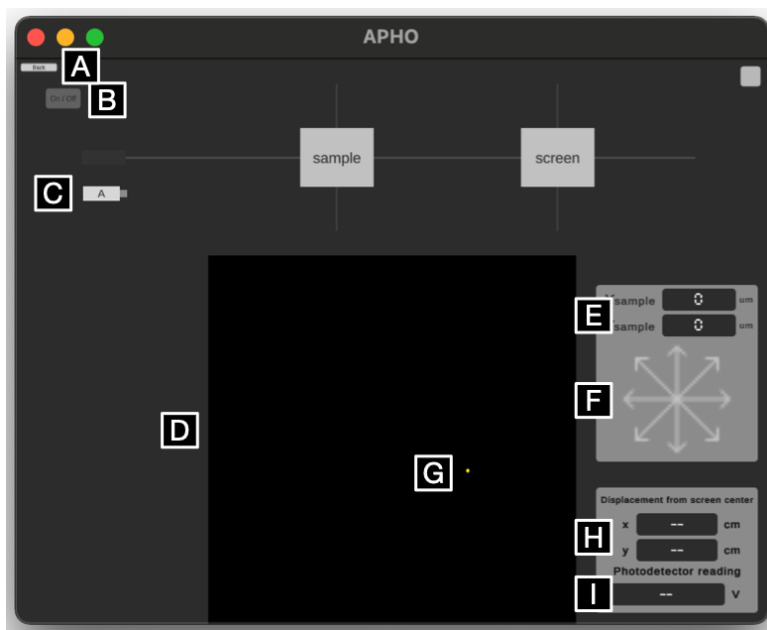


VNM-4 E-2 Q-3

Q2-3

Vietnam Experiment Final (Vietnam)

Hướng dẫn sử dụng phần mềm



2A

A. Nút Back trong thí nghiệm

Lưu ý khi kích vào nút này trong các thí nghiệm sẽ xóa tất cả các trạng thái và dữ liệu thí nghiệm và chuyển về giao diện ban đầu.

B. Nút bật tắt nguồn laser: on/off

on/off để bật / tắt nguồn laser khi laser đang ở trên ray quang học. Khi nguồn laser được bật, một vệt sáng sẽ hiển thị trên ray.

C. Nguồn Laser

Có thể kéo vào hoặc kéo ra khỏi ray quang học. Lưu ý khi một nguồn laser mới được đặt vào ray, "Installing" sẽ hiển thị để cho biết tiến trình cài đặt.

D. Màn chiếu screen

Đầu tiên, tia laser chiếu vào mẫu, hiển thị vân thu được lên màn chiếu screen ở phía bên phải của đường ray. Trong thí nghiệm Phần A, màn chiếu screen được cố định cách mẫu 50 cm.

E. Hiển thị tọa độ mẫu

X_{sample} và Y_{sample} hiển thị tọa độ của mẫu ở giữa ray với gia số 100 μm .

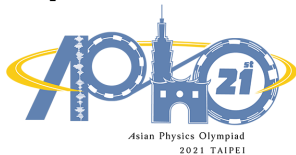
F. Điều chỉnh tọa độ mẫu

Kích vào mũi tên để điều chỉnh tọa độ của mẫu với gia số 100 μm . Nhấn và giữ để di chuyển liên tục. Các mũi tên chéo dùng để di chuyển mẫu theo cả hai trục với gia số 100 μm trên mỗi trục.

G. Điều chỉnh tọa độ đầu thu quang (photodetector)

Kích vào một điểm trên màn chiếu để đặt đầu thu quang tại vị trí đã kích. Sử dụng các phím mũi tên trên bàn phím máy tính của em để tinh chỉnh vị trí.

Experiment



VNM-4 E-2 Q-4

Q2-4

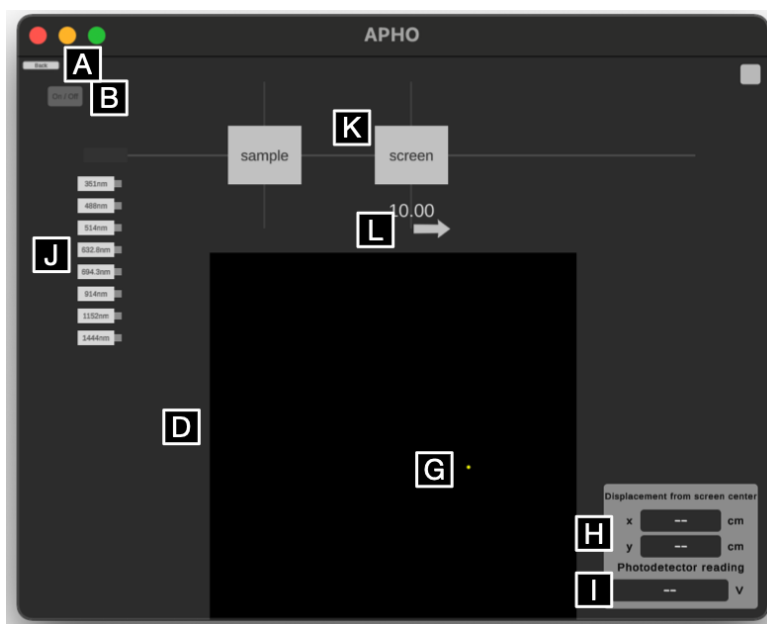
Vietnam Experiment Final (Vietnam)

H. Hiển thị tọa độ đầu thu quang

Hiển thị bằng số tọa độ (x, y) của đầu thu quang so với gốc tọa độ (tâm màn screen) với gia số 0.01 cm

I. Hiển thị điện áp bộ thu quang

Số chỉ vôn kế của bộ thu quang với gia số 0.01 V. Lưu ý dải đo không thay đổi được.



2B - 2E

J. Các nguồn laser với các bước sóng khác nhau

Có thể kéo vào hoặc ra khỏi ray quang học. Lưu ý khi một nguồn laser mới được đặt vào đường ray, "Installing" sẽ được hiển thị để cho biết tiến trình cài đặt.

K. Màn chiếu screen

Đầu tiên tia laser chiếu vào mẫu, ảnh vân thu được chiếu lên màn screen ở phía bên phải của đường ray. Trong các thí nghiệm từ Phần B đến Phần E, khoảng cách của màn chiếu screen đến mẫu có thể điều chỉnh được.

L. Điều chỉnh màn chiếu

Sử dụng chuột để kéo mũi tên theo chiều ngang. Sự điều chỉnh này thay đổi khoảng cách giữa màn chiếu đến mẫu với gia số 1,0 cm. Phạm vi điều chỉnh là 10,0 cm đến 100,0 cm.

III. Thí nghiệm

Phần A. Chuẩn trực ánh sáng và mẫu (1.0 điểm)

Để chuẩn trực tia laser chiếu đúng vào mẫu, một khe kép được sử dụng làm mẫu để hiệu chuẩn ánh sáng. Nếu tia laser được chuẩn trực và chiếu đúng vào tâm của khe kép, thì có thể quan sát thấy vân giao thoa rõ ràng trên màn screen. Vị trí ban đầu của khe kép là $(X_{sample}, Y_{sample}) = (0, 0)$, và giá trị được hiển thị trên giao diện phần mềm. Mẫu có vị trí z cố định. Bằng cách điều chỉnh hợp lí vị trí của khe kép dọc theo mặt phẳng x-y, em sẽ quan sát được các vân giao thoa hiển thị trên màn. Hãy tìm ra vị trí tốt nhất (X_{sample}, Y_{sample}) của khe kép mà em có thể xác định được chính xác khoảng cách của các vân giao thoa.

A.1	Hãy xác định giá trị vị trí tốt nhất (X_{sample}, Y_{sample}) đối với mẫu khe kép.	0.5pt
------------	--	-------

A.2	Với giá trị vị trí tốt nhất, hãy vẽ các vân giao thoa quan sát được và ghi lại vị trí (x, y) của các vân tối của bậc nhất và bậc hai và khoảng cách S giữa vị trí (x, y) và gốc tọa độ. Hãy xác định khoảng cách ΔS giữa hai vân tối liên tiếp.	0.5pt
------------	---	-------

Phần B. Khám phá kích thước cấu trúc mẫu (3.0 điểm)

Giả sử rằng đường quang học của toàn bộ hệ thống có cài đặt tối ưu, vị trí laser và vị trí mẫu là cố định. Chỉ cần thay đổi bước sóng của ánh sáng laser λ và vị trí của màn L , và sau đó hình ảnh nhiễu xạ tương ứng có thể được nhìn thấy trên màn. Khoảng cách tương ứng giữa mỗi vi cầu d có thể được xác định bằng cách sử dụng mối quan hệ về λ , L và S (khoảng cách giữa các vị trí (x, y) và gốc tọa độ). Hãy tham khảo sơ đồ sắp xếp vi cầu trong Hình 1 và sử dụng ba loại nguồn sáng laser trong dải ánh sáng nhìn thấy để ước tính đường kính a của vi cầu.

B.1	Viết công thức cho khoảng cách vi cầu d theo λ , L và S .	0.5pt
------------	---	-------

B.2	Với việc chọn vị trí thích hợp của màn L , hãy ghi lại tọa độ (x, y) của vùng nhiễu xạ trên màn screen cho vi cầu và khoảng cách ước tính S và $\tan^{-1}(\frac{S}{L})$ (đơn vị: radian) với ba nguồn laser được chọn trong vùng ánh sáng nhìn thấy. (ghi năm bộ số liệu trên cùng một vòng để lấy giá trị trung bình $\bar{S}$)	1.5pt
------------	---	-------

B.3	Sử dụng công thức trên để ước tính khoảng cách tương ứng giữa mỗi vi cầu d , đường kính của vi cầu a và đường kính trung bình $\bar{a}$ với ba nguồn laser.	1.0pt
------------	---	-------

Phần C. Khám phá kích thước cấu trúc mẫu (2.5 điểm)

Mẫu này có dạng lưới hình chữ nhật với một góc lệch. Trong mỗi hình chữ nhật, có nhiều vi cầu thủy tinh trong suốt được xếp dày đặc nhất theo hai chiều. Từ ảnh trên màn screen, em có thể thấy vân nhiễu xạ chéo gây ra bởi sự sắp xếp đều đặn của mảng lưới hình chữ nhật. Hãy chọn một nguồn laser trong vùng ánh sáng nhìn thấy để làm thí nghiệm và cố gắng suy ra kích thước của cấu trúc hình chữ nhật cùng với góc lệch tương ứng từ ảnh nhiễu xạ.

C.1 Hãy chọn một nguồn laser trong vùng ánh sáng nhìn thấy để làm thí nghiệm. Cố định khoảng cách giữa màn screen và mẫu ở $L = 90$ cm, và quan sát ảnh nhiễu xạ. Hãy ghi dấu tọa độ (x, y) của các vân sáng từ bậc 4^{th} tới bậc 7^{th} theo hai trục, tính khoảng cách tương ứng S và giá trị tương ứng của $\tan^{-1}(\frac{S}{L})$ (đơn vị: radian). 0.8pt

C.2 Hãy tính khoảng cách ΔS_l và ΔS_w giữa các vân sáng liên tiếp dựa trên dữ liệu ở câu hỏi trước. Hãy ước tính chiều dài (l) và chiều rộng (w) của mẫu hình chữ nhật. 0.7pt

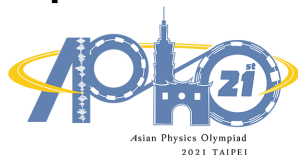
C.3 Ước lượng góc lệch: Vẽ đường thẳng để ước lượng góc. Bốn tọa độ (x, y) của các vùng sáng cần được đánh dấu. Ước tính góc lệch ϕ giữa cạnh dài của một hình chữ nhật với trục hoành. 1.0pt

Phần D. Khám phá kích thước cấu trúc mẫu (2.5 điểm)

Với ánh sáng tới trong vùng ánh sáng nhìn thấy như ở các phần trên, có các cấu trúc nhiễu xạ nhỏ hơn trong các vân sáng chéo trên màn hình, không dễ nhận biết. Do đó, ánh sáng có bước sóng dài hơn là cần thiết để thu được hình ảnh nhiễu xạ rõ ràng hơn cho mẫu. Hãy sử dụng tia laser hồng ngoại để chiếu tới các mẫu để tạo ra các vùng nhiễu xạ nhỏ. Vì tia hồng ngoại không nhìn thấy được nên cần phải có một bộ thu quang để tìm vị trí của các điểm nhiễu xạ. Hãy xác định cấu trúc lưới mẫu trên cơ sở các vùng nhiễu xạ nhỏ.

D.1 Đặt vị trí màn screen là 95 cm, chọn một tia laser hồng ngoại cho thí nghiệm và sử dụng bộ thu quang để xác định các dạng điểm nhiễu xạ nhỏ trên màn screen. Trong bảng số liệu, hãy ghi bước sóng laser và tọa độ tâm của một tập hợp 4×4 các vùng nhiễu xạ nhỏ trên màn screen. Vẽ mẫu 4×4 , biểu thị khoảng cách giữa các điểm liền kề, ΔS_x và ΔS_y trong mẫu và tính toán các giá trị đó. 1.9pt

D.2 Xác định các khoảng cách d_x và d_y của lưới mẫu từ kết quả của các thí nghiệm hồng ngoại. 0.6pt



Phần E. Khám phá kích thước cấu trúc mẫu (1.0 điểm)

Mẫu này được tạo thành từ nhiều vi cầu thủy tinh trong suốt sắp xếp chặt trong một cấu trúc hai chiều (xem Hình 1), và được bọc trong từng hình chữ nhật với một góc lệch xác định. Các vi cầu nằm sát nhau theo từng vùng, và hướng sắp xếp các vùng bằng cách nào đó không nhất quán. Ngoài ra các vùng hình chữ nhật tạo bởi các vi cầu có kích thước lớn hơn đường kính của vi cầu. Theo câu hỏi Phần C và Phần D, thông tin về kích thước và hướng cấu trúc sẽ nhận được khi quan sát các vân nhiễu xạ, dạng cấu trúc cụ thể của mẫu sẽ được xác định.

- | | | |
|------------|--|-------|
| E.1 | Hãy vẽ sự sắp xếp tuần hoàn của mẫu: Hãy biểu diễn nó bằng một mảng hình chữ nhật 3×3 và đánh dấu các kích thước (l và w), khoảng cách (d_x và d_y) và góc lệch (ϕ) tương ứng với câu hỏi Phần C và Phần D trong mẫu với các kí hiệu (l , w , d_x , d_y , ϕ). | 1.0pt |
|------------|--|-------|