

Hướng dẫn chung: Bài thi Lý thuyết

Thời gian làm bài thi lý thuyết là 5 giờ với tổng điểm là 30

Trước giờ thi

- Em không được phép mở phong bì đựng đề thi trước khi có tín hiệu thông báo bắt đầu giờ thi.
- Sẽ có tín hiệu âm thanh thông báo bắt đầu và kết thúc giờ thi. Sẽ có thông báo sau mỗi giờ làm bài và 15 phút trước khi hết giờ thi (15 phút trước tín hiệu âm thanh báo hết giờ).

Trong khi làm bài thi

- Phiếu trả lời được cung cấp để em viết câu trả lời. Hãy điền các câu trả lời cuối cùng vào các ô thích hợp trong phiếu trả lời tương ứng (được đánh dấu A). Đối với mọi bài, có thêm các tờ giấy làm bài để em ghi bài làm chi tiết (được đánh dấu W). Chú ý luôn sử dụng các giấy làm bài đúng với bài mà em đang làm (kiểm tra khớp số thứ tự bài trong tiêu đề của các giấy làm bài). Nếu em đã viết ở bất kỳ chỗ nào mà em không muốn được chấm điểm thì hãy gạch chéo. Em chỉ được viết vào mặt trước của mỗi trang.
- Trong các câu trả lời, em cố gắng viết ngắn gọn nhất có thể: sử dụng các phương trình, ký hiệu logic và hình vẽ để minh họa suy nghĩ của em mỗi khi có thể. Tránh sử dụng các câu dài.
- Em cần viết với số các chữ số có nghĩa thích hợp khi trình bày các kết quả bằng số.
- Đôi khi em có thể làm phần sau trước mà không nhất thiết phải làm xong các phần trước đó.
- Em không được rời khỏi bàn thi của em mà không được phép. Nếu cần bất kỳ sự trợ giúp nào (thêm nước uống vào chai, trực trực máy tính, đi vệ sinh...) vui lòng cầm một trong ba lá cờ vào giá trên bàn của em để thông báo cho người hướng dẫn nhóm biết ("Refill my water bottle, please" nếu em cần thêm nước uống, "I need to go to the toilet, please" nếu em cần đi vệ sinh, hoặc "I need help, please" trong tất cả các trường hợp khác).

Khi hết giờ làm bài

- Hãy dừng bút ngay khi được thông báo hết giờ.
- Đối với mỗi bài, hãy sắp xếp các tờ tương ứng theo thứ tự sau: trang bìa ở trên cùng (C), đề thi (Q) tiếp theo đến phiếu trả lời (A), giấy làm bài (W).
- Xếp tất cả các tờ giấy của cùng một bài vào một phong bì. Tờ giấy hướng dẫn chung (G) được cho vào riêng một phong bì còn lại. Hãy chắc chắn rằng mã học sinh của em có thể được nhìn thấy qua ô cửa sổ của mỗi phong bì. Các tờ giấy trắng khác cũng cần được xếp lại. Em không được phép mang bất kỳ tờ giấy nào ra khỏi khu vực thi.
- Hãy để lại trên bàn máy tính cầm tay màu xanh được cung cấp bởi ban tổ chức.
- Em hãy mang theo các dụng cụ làm bài (hai bút bi, 1 bút chì, 2 kéo, 1 thước, 2 nút tai) cùng máy tính cầm tay (nếu em mang theo) và chai nước của em.
- Em hãy ngồi đợi tại bàn thi cho đến khi các phong bì trên bàn của em được thu lại. Ngay sau khi tất cả các phong bì được thu, em sẽ được hướng dẫn ra khỏi khu vực thi.

Bài 1: Quá trình suy giảm quỹ đạo của trạm ISS [10.0 điểm]

Giới thiệu



Hình 1: Trạm Vũ trụ Quốc tế (International Space Station - ISS) trên quỹ đạo quanh Trái Đất.

ISS hiện đang được duy trì trên một quỹ đạo gần tròn với độ cao trung bình nhỏ nhất là 370km và lớn nhất là 460km , trong vùng giữa của tầng nhiệt (thermosphere) của Trái Đất, có mặt phẳng quỹ đạo nghiêng $\theta = 51.6^\circ$ so với mặt phẳng xích đạo Trái Đất. Quỹ đạo của nó có dạng đường xoắn mà khoảng cách từ trạm tới bề mặt Trái Đất thay đổi chậm theo thời gian, và trong một chu kỳ quay, độ thay đổi độ cao là không đáng kể.

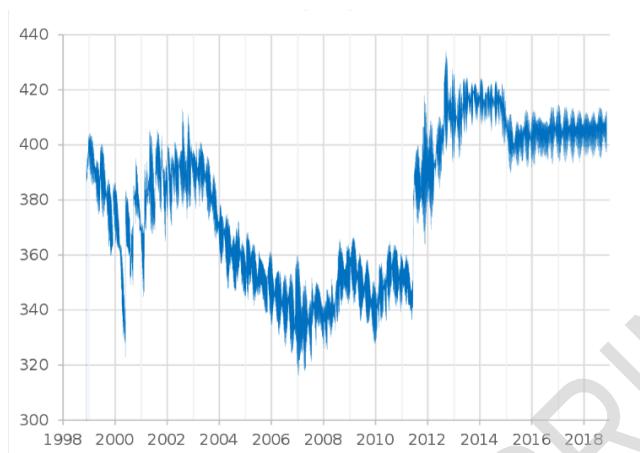
Khối lượng ISS là $M_S = 4.5 \times 10^5\text{kg}$ và chiều dài toàn phần là $L_S = 109\text{m}$. ISS được cung cấp điện năng nhờ các tấm năng lượng Mặt Trời khổng lồ có chiều rộng $W_S = 73\text{m}$ [Báo cáo chính thức của NASA (2023)].

Nếu tính cả các pin và các phần khác, diện tích mặt cắt (tiết diện) hiệu dụng của trạm vào khoảng $S \approx 2.5 \times 10^3\text{m}^2$ [Cơ quan Vũ trụ Châu Âu, SDC6-23].

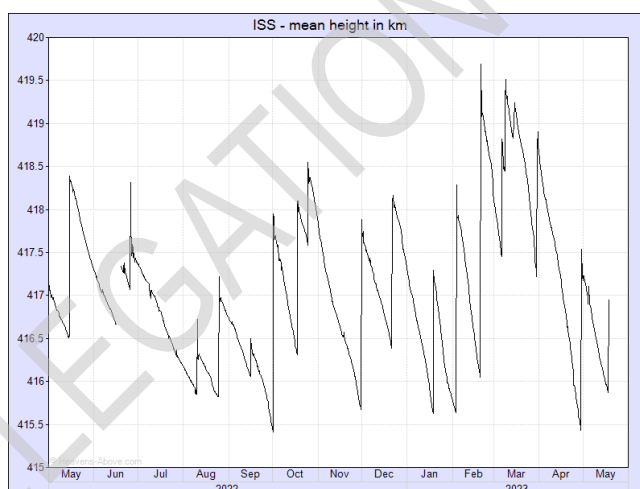
Sự suy giảm quỹ đạo của ISS là do một hay nhiều cơ chế hấp thụ năng lượng từ chuyển động quỹ đạo, trong đó các nguyên nhân cơ bản bao gồm:

- lực cản của khí quyển tại độ cao quỹ đạo được tạo ra do va chạm giữa các phân tử khí với vệ tinh,
- lực từ Ampere xuất hiện do chuyển động của các bộ phận dẫn điện trong từ trường của Trái Đất,
- tương tác với các iôn nguyên tử Ôxy.

"... Vào tháng 5 năm 2008, độ cao là 350km , trạm ISS đã hạ xuống 4.5km và được nâng bởi tàu tiếp tế Progress-60 lên 5.5km . Sau đó, trạm ISS lại tiếp tục giảm độ cao đi 5.5km ..." [<https://mod.jsc.nasa.gov>]

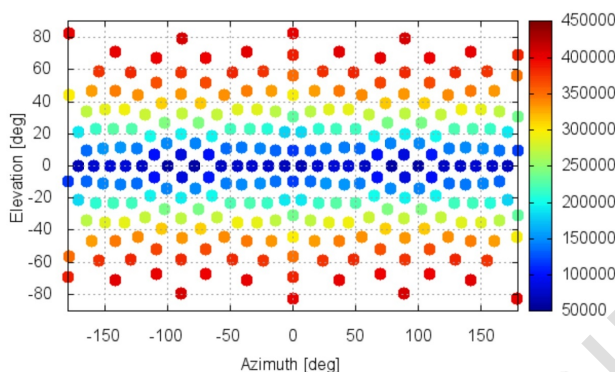


Hình 2: Độ cao của ISS (km) qua các năm.



Hình 3: Độ cao trung bình của trạm ISS (km) trong các năm 2022-2023.

". . . Độ cao của trạm ISS có thể giảm tới 330 ft (100 m) mỗi ngày . . ." [Số liệu Kiểm soát NASA (2021)]. Vào năm 2023, ISS nằm tại độ cao 410 km , với độ suy giảm quỹ đạo khoảng chừng 70 m mỗi ngày ($\sim 2\text{ km}$ mỗi tháng), và khi có bão từ độ giảm độ cao mỗi ngày có thể đạt tới 300 m . Trạm ISS thực hiện các quá trình điều chỉnh quỹ đạo nhờ sử dụng chức năng đẩy của ISS và các phương tiện đến trạm [Báo cáo Chuyển tiếp của ISS (2022)].



Hình 4: Mô hình ISS với diện tích mặt cắt với các góc khác nhau (dm^2). Phương pháp CROC cho kết quả tiết diện hiệu dụng $2481m^2$.

Ký hiệu và các hằng số vật lý:

Hằng số khí	R	$= 8.31 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Số Avogadro	N_A	$= 6.022 \cdot 10^{23} mol^{-1}$
Khối lượng mol phân tử (cho không khí)	μ	$= 0.029 kg \cdot mol^{-1}$
Khối lượng Trái Đất	M_E	$= 5.97 \cdot 10^{24} kg$
Bán kính Trái Đất	R_E	$= 6.38 \cdot 10^6 m$
Hằng số hấp dẫn	G	$= 6.67 \cdot 10^{-11} m^3 \cdot s^{-2} \cdot kg^{-1}$
Khối lượng riêng không khí tại bề mặt Trái Đất	ρ_0	$= 1.29 kg/m^3$
Gia tốc trọng trường tại bề mặt Trái Đất	g_0	$= 9.81 m \cdot s^{-2}$
Độ lớn trung bình của từ trường Trái Đất	B	$= 5.0 \cdot 10^{-5} T$
Giá trị tuyệt đối của điện tích electron	e	$= 1.60 \cdot 10^{-19} C$

Phần A: Công thức áp suất sửa đổi [2.0 điểm]

Áp suất của khí quyển, chủ yếu bao gồm các phân tử trung hòa O_2 và N_2 , có thể được tính theo phương trình Clapeyron-Mendeleev (phương trình khí lý tưởng): $pV = \frac{M}{\mu}RT$. trong đó p, V, T, M và μ lần lượt là áp suất, thể tích, nhiệt độ, khối lượng và khối lượng mol phân tử của một khối khí, R là hằng số khí lý tưởng.

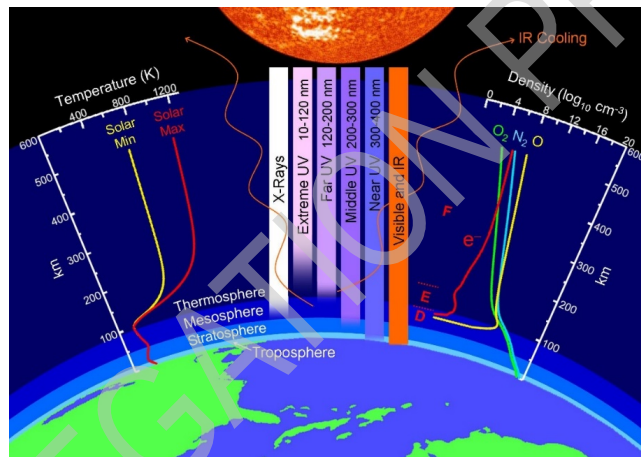
Có hai phương trình để tìm hàm của áp suất không khí theo độ cao. Phương trình thứ nhất áp dụng cho mô hình chuẩn của **tầng đối lưu (troposphere)** ($h < 100km$) trong đó nhiệt độ được giả sử là thay đổi theo độ cao với một tốc độ biến đổi nào đó.

Phương trình thứ hai thuộc về mô hình chuẩn của **tầng nhiệt (thermosphere)** ($h > 250km$) trong đó nhiệt độ được giả thiết là thay đổi không đáng kể theo độ cao và được áp dụng cho ISS.

Chúng ta có thể giả thiết rằng tất cả các áp suất có tính chất thủy tĩnh và đẳng hướng (nghĩa là có độ lớn như nhau theo mọi hướng).

- A.1** Hãy thiết lập biểu thức tổng quát có chứa tích phân cho áp suất không khí p_h tại độ cao h của ISS. Biểu thức này được gọi là công thức áp suất tổng quát. Gợi ý: Nhiệt độ và gia tốc trọng trường có thể phụ thuộc vào h . 0.5pt

Nhận xét 1. Nhiệt độ của tầng nhiệt (thermosphere) của Trái Đất tại độ cao $300 - 600\text{ km}$ thay đổi không đáng kể và đạt tới giá trị trung bình khoảng $800 - 900\text{ K}$ ở vùng được Mặt Trời chiếu sáng [số liệu của NASA]. Vì thế, ta có thể đặt $T_h = T = \text{const}$ khi nghiên cứu chuyển động của ISS trên quỹ đạo. Cụ thể, do trạm có gần nửa thời gian bay nằm trong vùng tối của Trái Đất, vùng mà nhiệt độ giảm mạnh, ta có thể lấy giá trị nhiệt độ trung bình $T = 425\text{ K}$ cho toàn quỹ đạo tại những độ cao này. Giá trị nhiệt độ này cũng phù hợp với giá trị khối lượng riêng không khí $\rho_h \sim 10^{-12}\text{ kg/m}^3$ [MSISE-90 Mô hình Khí quyển Tầng cao của Trái Đất] ở độ cao $h = 400\text{ km}$.



Hình 5: Tầng nhiệt của Trái Đất.

- A.2** Hãy viết biểu thức áp suất khí quyển (công thức áp suất khí quyển tiêu chuẩn-standard) p_h^{sta} , trong đó, nhiệt độ và gia tốc trọng trường g_h không phụ thuộc vào độ cao h . Hãy tính tham số $h_0 = \frac{RT}{\mu g_0}$ với $T = 425\text{ K}$. 0.3pt

- A.3** Hãy viết biểu thức áp suất khí quyển (công thức áp suất khí quyển cải tiến-improved) p_h^{imp} trong đó, nhiệt độ là hằng số nhưng gia tốc trọng trường phụ thuộc vào độ cao h . Gợi ý: Ở đây, độ cao của quỹ đạo h tính từ bề mặt Trái Đất là nhỏ hơn rất nhiều so với bán kính Trái Đất: $z_h \doteq h/R_E \ll 1$. Chỉ sử dụng các gần đúng bậc thấp nhất với độ chính xác $O(z_h^2)$. 0.6pt

- A.4** Hãy viết tỷ số giữa công thức áp suất khí quyển cải tiến 'improved' và công thức áp suất khí quyển tiêu chuẩn 'standard' p_h^{imp}/p_h^{sta} . Ước tính tỷ số này với $h = 4.0 \times 10^5\text{ m}$. Em hãy sử dụng công thức cải tiến 'improved' để làm các phần tiếp theo. 0.4pt

- A.5** Hãy viết biểu thức khối lượng riêng không khí ρ_h và mật độ hạt phân tử không khí trung hòa n_h tại độ cao h , với độ chính xác $O(z_h^2)$. 0.2pt

Phần B: Sự suy giảm quỹ đạo và tốc độ giảm độ cao của trạm [3.0 điểm]

Chúng ta hãy đi xác định tốc độ giảm độ cao của vệ tinh có khối lượng M_S khi chịu tác dụng của lực ma sát coi không đổi $\vec{F}_{drag}$ với giả thiết độ giảm độ cao dh nhỏ hơn nhiều so với độ cao quỹ đạo h ($dh \ll h$).

- B.1** Hãy viết biểu thức của vận tốc vệ tinh v_h và chu kỳ τ_h trên quỹ đạo ổn định ở độ cao h . 0.5pt

- B.2** Hãy viết biểu thức của tổng năng lượng E_S của vệ tinh chuyển động theo quỹ đạo tròn có bán kính $R_E + h$. 0.5pt

- B.3** Lực cản tổng hợp tác dụng lên vệ tinh có khối lượng không đổi là ngoại lực $\vec{F}_{drag}$ nào đó. Kết quả là ISS sẽ chậm lại và giảm độ cao đi một lượng dh trong khoảng thời gian ngắn dt . Hãy viết phương trình cân bằng tổng năng lượng của ISS và hệ xung quanh, với một giá trị nào đó của F_{drag} . 1.0pt

- B.4** Hãy xác định tốc độ giảm độ cao u_h của vệ tinh. Gợi ý: tốc độ giảm độ cao phụ thuộc vào lực ma sát, độ cao và khối lượng của vệ tinh cùng các hằng số cần thiết. 0.5pt

- B.5** Hãy viết các biểu thức tổng độ giảm độ cao H_h trong một chu kỳ quanh Trái Đất và tổng thời gian T_h để vệ tinh rơi từ độ cao h xuống tới bề mặt Trái Đất do ma sát. Gợi ý: Sử dụng mối liên hệ $h_0 \ll h \ll R_E$. 0.5pt

Phần C: Lực cản của khí quyển [1.0 điểm]

Tốc độ của vệ tinh v lớn hơn nhiều lần so với tốc độ trung bình của chuyển động nhiệt (cỡ hàng trăm m/s) của các phân tử khí quyển ở độ cao $h \approx 300 - 400 \text{ km}$, nên ta có thể giả thiết rằng các phân tử là đứng yên trước khi va chạm với ISS. Để ước tính lực cản, ta giả thiết ngay sau va chạm các phân tử có cùng tốc độ với vệ tinh.

- C.1** Hãy viết biểu thức của lực cản của không khí F_{air} , tốc độ giảm độ cao u_h^{air} và tổng độ giảm độ cao trong một chu kỳ H_h^{air} . 0.5pt

- C.2** Hãy xác định tổng thời gian T_h^{air} để vệ tinh rơi từ độ cao h xuống tới bề mặt Trái Đất do lực cản của không khí. Gợi ý: Sử dụng mối liên hệ $h_0 \ll h \ll R_E$. 0.5pt

Phần D: Lực cản bởi ion nguyên tử Ôxy [1.0 điểm]

Không như phân tử O_2 , phân tử N_2 không bị phân ly mạnh dưới tác dụng của bức xạ Mặt Trời, nên thông

thường số nguyên tử N trong khí quyển tầng cao của Trái Đất ít hơn nhiều so với số nguyên tử O . Ở độ cao trên $250km$, nguyên tử O chiếm ưu thế. Trong tầng nhiệt, dưới tác dụng của tia cực tím và tia X trong bức xạ Mặt Trời và bức xạ vũ trụ, xảy ra sự ion hóa không khí ("cực quang"). Tại các vùng khí quyển được Mặt Trời chiếu sáng, xuất hiện các lớp khí quyển chứa electron và các ion nguyên tử Ôxy. Trong trường hợp này, mật độ hạt ion nguyên tử Ôxy đạt tới $n_{ion} \sim 10^{12} m^{-3}$

- D.1** Hãy viết biểu thức lực cản trung bình trong thời gian 24 giờ F_{ion} , gây ra do va chạm cơ học của các hạt ion này. Chú ý tính đến sự giảm mạnh của sự ion hóa trong miền tối.
Hãy viết biểu thức của khối lượng riêng của ion nguyên tử Ôxy ρ_{ion} . 0.3pt

- D.2** Hãy xác định tốc độ giảm độ cao u_h^{ion} của vệ tinh do lực cản của các ion nguyên tử Ôxy. Hãy viết biểu thức tổng độ giảm độ cao trong một chu kỳ H_h^{ion} do hiệu ứng ion hóa. Gợi ý: Sử dụng mối liên hệ $h_0 \ll h \ll R_E$. 0.7pt

Phần E: Lực cản do từ trường Trái Đất [2.0 điểm]

Chúng ta hãy xem xét ảnh hưởng của từ trường Trái Đất lên chuyển động vệ tinh, từ trường có giá trị tại gần bề mặt Trái Đất nằm trong khoảng $(3.5 - 6.5) \cdot 10^{-5}T$ với giá trị trung bình $B = 5 \cdot 10^{-5}T$.

Khi một vệ tinh chuyển động với tốc độ cao trong từ trường, xuất hiện một suất điện động cảm ứng (EMF) trong các bộ phận dẫn điện của vệ tinh. Suất điện động cảm ứng này sẽ tạo ra sự phân bố lại điện tích trong các bộ phận dẫn điện của vệ tinh. Kết quả là làm xuất hiện một điện trường xung quanh vệ tinh làm ảnh hưởng đến chuyển động của các hạt mang điện trong môi trường. Electron bị hút tới các phần của vệ tinh có điện thế dương (tương đối so với phần giữa của vệ tinh), và các hạt mang điện dương bị hút về phía các phần của vệ tinh có điện thế âm. Các electron đập vào vệ tinh sẽ "chuyển động" bên trong các phần dẫn của vệ tinh tạo ra dòng điện cảm ứng còn các ion khí va chạm với bề mặt của vệ tinh kết hợp với electron tạo thành các nguyên tử Ôxy trung hòa. Vệ tinh khi chuyển động trong không gian va chạm với electron và các ion từ không gian xung quanh và "thu thập" chúng. Để ước tính độ lớn của dòng điện chạy qua các phần dẫn của vệ tinh, ta giả thiết rằng quá trình thu thập chỉ xảy ra trên một diện tích bằng đúng tiết diện ngang S của vệ tinh và tất cả các ion và electron tham gia vào quá trình tạo dòng điện này.

- E.1** Hãy xác định biểu thức xấp xỉ của độ lớn dòng cảm ứng (induced) I_{ind} . 0.6pt

- E.2** Hãy xác định biểu thức xấp xỉ của lực "cản" Ampere F_{ind} ngược chiều với phương chuyển động của vệ tinh.
Gọi ϕ là góc giữa phương của từ trường Trái Đất $\vec{B}$ dọc theo kinh tuyến và phương chuyển động của vệ tinh. Để đơn giản, thay vì tính giá trị trung bình của $\sin(\phi)$, em có thể xấp xỉ nó theo hàm phụ thuộc góc nghiêng của quỹ đạo vệ tinh với xích đạo $\sin(\pi/2 - \theta)$. Em cũng có thể tìm giá trị trung bình bằng cách thay một vài giá trị cụ thể của ϕ vào hàm. Thêm vào đó, em có thể xấp xỉ chiều dài L của vệ tinh bằng căn bậc hai của tiết diện vệ tinh S . 0.6pt

- E.3** Hãy viết biểu thức tốc độ giảm độ cao u_{ind} của vệ tinh do từ trường Trái Đất. Hãy viết tổng độ giảm độ cao H_h^{ind} trong một chu kỳ do hiệu ứng cản của lực từ.
Gợi ý: Sử dụng mối liên hệ $h \ll R_E$. 0.8pt

Phần F: Hãy tính số và kết luận [1.0 điểm]

F.1	Hãy tính và điền kết quả vào Bảng 1 trong phiếu Trả lời (Answer Sheet).	0.4pt
F.2	Hãy tính và điền kết quả vào Bảng 2 trong phiếu Trả lời (Answer Sheet).	0.4pt
F.3	Hãy sắp xếp ba quá trình (lực cản của khí quyển, va chạm với ion nguyên tử Ôxy, lực từ do chuyển động trong từ trường) theo thứ tự về mức độ ảnh hưởng của chúng tới quỹ đạo của ISS khi độ cao của vệ tinh trên $380km$.	0.2pt

Bài 2: Quả bóng trên bàn xoay [10.0 điểm]

Mở đầu

Kí hiệu và quy ước: Độ lớn của một vectơ $\vec{A}$ được kí hiệu đơn giản là $A \equiv |\vec{A}|$. Các thành phần x, y, z của nó được kí hiệu tương ứng là A_x, A_y, A_z . Đạo hàm theo thời gian của một đại lượng được kí hiệu với dấu chấm ở trên đại lượng: $\dot{A} \equiv d\vec{A}/dt, \dot{A} \equiv dA/dt$. Vectơ đơn vị dọc theo hướng của vectơ $\vec{A}$ được kí hiệu là $\hat{A}$. Do đó $\hat{x}, \hat{y}$ và $\hat{z}$ là các vectơ đơn vị dọc theo các trục tọa độ Đề các. Các định nghĩa về tích vô hướng và có hướng của các vectơ là:

$$(\vec{A} \cdot \vec{B}) = (\vec{B} \cdot \vec{A}) = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z = AB \cos \theta$$

$$(\vec{A} \times \vec{B}) = -(\vec{B} \times \vec{A}) \\ = (A_y B_z - A_z B_y)\hat{x} + (A_z B_x - A_x B_z)\hat{y} + (A_x B_y - A_y B_x)\hat{z}$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = AB \sin \theta,$$

với θ là góc hợp bởi $\vec{A}$ và $\vec{B}$. Em có thể cần đến các tính chất sau của vectơ và phép nhân của chúng. Quy tắc tích nhân ba của các vectơ:

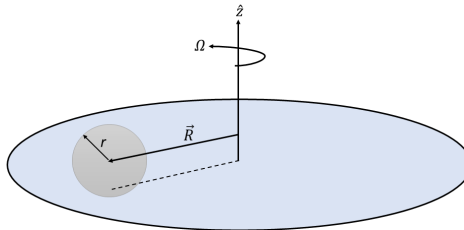
$$(\vec{A} \times \vec{B}) \times \vec{C} = (\vec{A} \cdot \vec{C})\vec{B} - (\vec{B} \cdot \vec{C})\vec{A}, \\ (\vec{A} \times \vec{B}) \cdot \vec{C} = (\vec{B} \times \vec{C}) \cdot \vec{A} = (\vec{C} \times \vec{A}) \cdot \vec{B}.$$

Các tích vectơ rất hữu ích trong việc mô tả nhiều quan hệ trong vật lý. Ví dụ:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}, \\ \vec{F}_{Lorentz} = Q\vec{v} \times \vec{B},$$

và thường sẽ tiết kiệm thời gian để kết hợp ba phương trình ứng với các thành phần vectơ thành một phương trình.

Bài toán



Hình 1. Bóng lăn không trượt trên bàn xoay

Một quả bóng khối lượng m , bán kính r đang lăn không trượt trên một mặt bàn xoay nằm ngang (xem Hình 1). Mật độ khối lượng của quả bóng có dạng đối xứng cầu, tức là mật độ chỉ phụ thuộc vào khoảng cách đến tâm của quả bóng. Mômen quán tính của quả bóng là I . Trong phần B và C, bàn xoay có thể quay tự do, mômen quán tính của bàn xoay được ký hiệu là I_d . Mục đích của bài toán này là phân tích chuyển động và quỹ đạo của quả bóng đối với hệ quy chiếu phòng thí nghiệm. Trong suốt bài toán này ta giả thiết bàn xoay là đủ rộng để quả bóng không rơi khỏi bàn. Các kí hiệu sau đây được sử dụng:

Ω - độ lớn của vận tốc góc của bàn xoay,

$\vec{\omega}$ - vận tốc góc của quả bóng quay quanh trục của chính nó,

$\vec{R}$ - vị trí theo phương ngang của tâm quả bóng so với trục quay của bàn xoay,

$\vec{v}$ - vận tốc của quả bóng ở $\vec{R}$ đối với hệ quy chiếu phòng thí nghiệm.

Giả thiết ban đầu quả bóng có vị trí $\vec{R}_0 \equiv \vec{R}(0)$, vận tốc $\vec{v}_0 \equiv \vec{v}(0)$ và bàn xoay có vận tốc góc $\Omega_0 \equiv \Omega(0)$ đều đã biết. Với các đại lượng vectơ ban đầu $\vec{R}_0 \equiv \vec{R}(0)$ và $\vec{v}_0 \equiv \vec{v}(0)$, giả thiết hướng của chúng là đã biết. Ngoài ra, bất cứ khi nào cần biểu diễn một đại lượng vectơ, em có thể sử dụng $\hat{z}$ để biểu diễn. Cũng vậy, nếu được yêu cầu viết biểu thức theo các đại lượng đã biết em có thể sử dụng các đại lượng m, r, I và I_d . Trừ khi có quy định khác, I là dùng chung. Các kí hiệu dưới đây em nên dùng:

$$\alpha = \frac{I}{I + mr^2}, \quad \delta = \frac{I_d}{mr^2},$$

Em có thể viết các trả lời cuối cùng ở dạng biểu thức vectơ chứa tích có hướng, tích vô hướng và các vectơ đơn vị theo hướng trục.

Phần A: Quả bóng trên bàn đang xoay với vận tốc góc không đổi [1.5 điểm]

Đầu tiên ta bắt đầu với trường hợp đơn giản là vận tốc góc của bàn xoay đối với trục thẳng đứng $\hat{z}$ là không đổi, vì vậy $\Omega = \Omega_0$.

A.1	Từ ràng buộc động học, hãy viết biểu thức vận tốc $\vec{v}$ của quả bóng theo $\Omega, \vec{\omega}, r$ và $\vec{R}$.	0.1pt
A.2	Dùng phương trình Newton và phương trình mômen lực đối với tâm quả bóng, hãy tìm gia tốc của quả bóng $\vec{a} \equiv \dot{\vec{v}}$ theo $\Omega, \vec{v}, r, m$ và I .	0.2pt
A.3	Hãy tìm vận tốc $\vec{v}$ theo $\Omega, \vec{R}, \vec{v}_0, \vec{R}_0, r, m$ và I .	0.2pt
A.4	Hãy viết lời giải chi tiết cho quỹ đạo của quả bóng với các thông số ban đầu $\vec{v}_0$ và $\vec{R}_0$.	0.5pt
A.5	Giả thiết trường hợp khi quả bóng có mật độ khối lượng phân bố đều, tức là $I = 2mr^2/5$. Quỹ đạo mà em tìm được là một đường tròn có bán kính là R_t . Lấy độ lớn của bán kính là bằng với R_0 . Sau thời gian bao lâu thì quả bóng tiếp cận vị trí điểm ban đầu ở trên bàn (vị trí bóng nằm trên bàn xoay ở thời điểm $t = 0$)?	0.5pt

Phần B: Quả bóng trên bàn xoay có thể quay tự do [4.0 điểm]

Trong phần này, bàn xoay có thể quay tự do không ma sát quanh trục z . Do đó chuyển động quay tự do của bàn chỉ bị cản trở bởi lực ma sát với quả bóng.

B.1	Hãy tìm vận tốc $\vec{v}$ và gia tốc $\vec{v}$ của quả bóng theo $\Omega, \vec{R}, \Omega_0, \vec{R}_0, \dot{\Omega}, r, m$ và I .	0.2pt
B.2	Hãy tìm độ lớn gia tốc góc $\dot{\Omega}$ của bàn xoay theo $\Omega, \Omega_0, \vec{R}, \vec{R}_0, \vec{v}_0, r, m, I$ và I_d . Em có thể dùng các hệ số α và δ đã được định nghĩa phần đầu của bài.	0.6pt

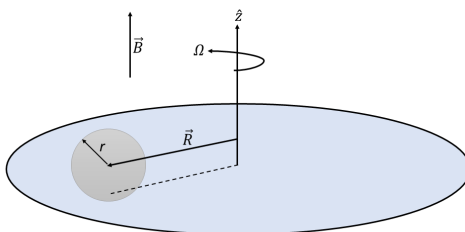
B.3 Hãy tìm độ lớn vận tốc góc Ω của bàn xoay là hàm chỉ theo R . Sử dụng các hằng số này trong biểu thức: $\Omega_0, R_0, r, m, I, I_d$. 0.6pt

B.4 Từ kết quả ở B.3, biết Ω_0, R_0 , hãy tìm giá trị lớn nhất có thể của Ω . 0.1pt

B.5 Hãy viết thành phần theo phương thẳng đứng của động lượng góc $\hat{z}M_z$ của toàn hệ. Xác định thành phần không đổi và loại bỏ, đặt phần còn lại là $\hat{z}L$. Trong phần B.1 em đã tìm được vận tốc $\vec{v}$ của quả bóng, vận tốc này có thể được viết dạng tổng gồm phần phụ thuộc vào vị trí $\vec{R}$ của quả bóng và một phần là một vectơ không đổi. Ta gọi phần vectơ không đổi này là $\vec{c}$. Chọn hướng của trục x dọc theo vectơ này và trục y dọc theo $\hat{z} \times \vec{c}$. Trong hệ quy chiếu này, hãy tìm Ω theo $L, \vec{R}, \vec{c}, \hat{z}, R^2, r, m, I$ và I_d . Kết hợp điều này với kết quả ở B.3, viết một phương trình chỉ chứa các biến R^2, y và L, r, m, I, c và I_d . Ở đây c là độ lớn của $\vec{c}$. Từ $R^2 = x^2 + y^2$, hãy viết biểu thức chỉ chứa các biến x và y và mô tả đường cong. Biện luận và liệt kê tất cả các dạng quỹ đạo có thể có. 2.5pt

Phần C: Quả bóng trên bàn xoay nằm trong từ trường [4.5 điểm]

Trong phần này, ta xét một dạng phân bố mật độ khối lượng để $I = mr^2/10$. Điều này là có thể, ví dụ nếu quả bóng được điền đầy với mật độ khối đồng đều đến đúng nửa bán kính của nó và phần còn lại có khối lượng không đáng kể. Ngoài ra, ở trên mặt ngoài quả bóng có điện tích phân bố đều với mật độ $Q/(4\pi r^2)$, với Q là tổng điện tích bề mặt. Toàn bộ hệ được đặt trong từ trường đều $\vec{B}$ có hướng theo $\hat{z}$. Bàn xoay quay với vận tốc góc Ω không đổi giống như phần A.



Hình 2. Quả bóng lăn trên bàn xoay nằm trong từ trường không đổi $\vec{B}$

C.1 Hãy viết phương trình Newton và phương trình mômen lực $\vec{\tau}_s$ cho quả bóng. Tìm biểu thức mômen lực do sự quay của quả bóng quanh trục của nó theo $Q, r, \vec{\omega}$ và $\vec{B}$. 0.5pt

C.2 Dùng kết quả của C.1, hãy tìm biểu thức gia tốc pháp tuyến của quả bóng trong hệ quy chiếu phòng thí nghiệm theo $Q, r, \vec{\omega}$ và $\vec{B}$. 0.5pt

- C.3** Ta giả sử tất cả các đại lượng độ dài có đơn vị là mét, tất cả các tốc độ góc có đơn vị là 1 Hertz, và tất cả các đại lượng thời gian có đơn vị là 1 giây. 1.0pt

Phương trình cho gia tốc pháp tuyến em tìm được ở phần C.2 là phương trình vi phân bậc hai cho $\vec{R}$ ở dạng sau:

$$\frac{d^2 \vec{R}}{dt^2} - \gamma \frac{d\vec{R}}{dt} \times \hat{z} + \beta \vec{R} = 0.$$

Hãy tìm các hệ số γ và β theo Q, r, B, I, m, Ω . Thực hiện phép biến đổi sang hệ tọa độ cực cho các thành phần của $\vec{R}$:

$$x(t) = \rho(t) \cos(\eta(t)),$$

$$y(t) = \rho(t) \sin(\eta(t))$$

nhận thấy các phương trình mới không chứa số hạng đạo hàm bậc nhất theo thời gian. Ở đây góc cực $\eta(t)$ là hàm theo thời gian. Hãy tìm hàm góc cực này.

Hãy viết phương trình xác định hệ số β' của $\rho(t)$ theo γ và β .

Hãy viết các điều kiện cụ thể ứng với các dạng khác nhau của $\rho(t)$ theo thời gian: điều hòa, hàm mũ ...

- C.4** Với các điều kiện ban đầu ở dưới cho lời giải tìm được ở phần C.3: 0.9pt

$$x(0) = 1\text{ m}, \quad y = 0\text{ m}, \quad v_x(0) = \dot{x}|_{t=0} = 1\text{ m/s}, \quad v_y(0) = \dot{y}|_{t=0} = -1\text{ m/s}.$$

Từ các điều kiện này, tìm β và γ . Sử dụng kết quả để tìm Ω tương ứng.

Hãy vẽ phác quỹ đạo. Điện tích ở trên bề mặt quả bóng là dương hay âm? Nếu là âm thì viết là $-$ và là dương thì viết là $+$ trong phiếu trả lời của em.

- C.5** Từ lời giải em có được ở phần C.4. Nếu giải đúng em xác định được $\vec{R}(t)$ khi 1.6pt

quay. Khi quay với số vòng $N \gg 1$, tìm các biểu thức về sự thay đổi năng lượng của toàn bộ và cho vòng quay cuối. Ở đây em có thể bỏ qua các đại lượng nhỏ so với N . Trong phần này giả sử khối lượng và bán kính của quả bóng là $m = 1\text{ kg}$ và $r = 1\text{ m}$ do đó $I = 1/11\text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Bài 3: Cavitation [10.0 điểm]

Giới thiệu

Cavitation là hiện tượng bong bóng hơi hoặc "lỗ hổng" được tạo ra trong môi trường chất lỏng do *áp suất giảm*. Điều này trái ngược với quá trình sôi, trong đó bong bóng hơi được tạo ra do *nhiệt độ tăng*. Khi bong bóng hơi co lại và tạo ra sóng xung kích và các tia siêu âm khi áp suất được phục hồi, hiện tượng cavitation là nguồn gây hư hỏng liên tục và thậm chí là thảm họa trong máy thủy lực, tàu và nói chung là trong bất kỳ thiết bị nào liên quan đến dòng chất lỏng. Đôi khi, cavitation cũng có nhiều ứng dụng tích cực, chẳng hạn như trong công nghiệp hóa chất, làm sạch và điều trị sỏi thận.

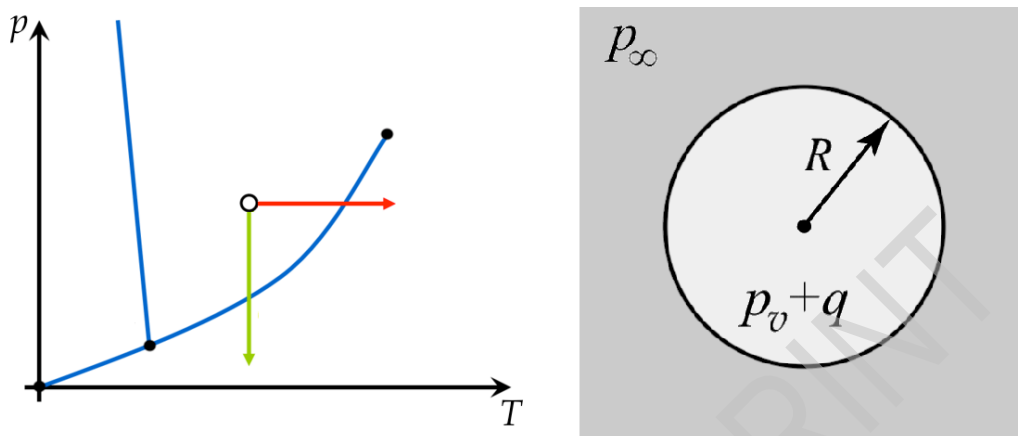


Hình 1. (a) Cavitation được tạo bởi cánh quạt (b) Thiệt hại do cavitaion (Nguồn: Wikimedia Commons)

Ta hiểu rằng bong bóng hơi thường được phát triển từ các bong bóng siêu nhỏ, được gọi là *mầm* (nuclei), tồn tại sẵn trong chất lỏng. Những bong bóng siêu nhỏ này có kích thước vài micron và chứa cả hơi nước và khí không ngưng tụ (sau đây gọi là không khí khi xem xét cùng với nước thông thường). Nếu áp suất trong chất lỏng trở nên đủ thấp, các *mầm* sẽ phát triển thành kích thước vĩ mô, hiện tượng cavitation bắt đầu. Chất lỏng được loại bỏ những *mầm* như vậy thậm chí có thể chịu được áp suất âm mà không gây ra hiện tượng cavitation. Người ta thường so sánh điều này với chất rắn chịu sức căng, không dễ bị vỡ nếu không có sẵn các hốc hoặc vết nứt.

Trong bài toán này, chúng ta sẽ xem xét các trường hợp lý tưởng hóa khác nhau liên quan đến cavitation. Thông thường, chúng ta có thể thu được một số thông tin chỉ từ phép phân tích thứ nguyên đơn giản. Tuy nhiên, để nghiên cứu chính xác hơn, chúng ta cần sử dụng các phương trình vi phân của các định luật cơ bản ví dụ như định luật hai Newton về chuyển động và định luật khuếch tán của Fick.

Một trong những điều đầu tiên chúng ta muốn biết là *áp suất tới hạn* (hoặc *áp suất ngưỡng*), đó là giá trị nhỏ nhất của áp suất nước mà các *mầm* vẫn tồn tại ở dạng vi mô mà không phát triển thành các bong bóng vĩ mô. Ở nhiệt độ xác định, áp suất tới hạn gần bằng với áp suất hơi, nhưng giá trị chính xác thì thấp hơn một chút do sức căng bề mặt và thành phần không khí bên trong các *mầm*.



Hình 2. (a) Hiện tượng cavitation (mũi tên đi xuống) và sự sôi (mũi tên sang phải) trên giản đồ pha (b) Một bong bóng điển hình (xem Bảng 1 để biết các ký hiệu)

Nếu áp suất bên ngoài đột ngột giảm xuống dưới áp suất tới hạn của *màng*, thì *màng* bắt đầu giãn nở và tốc độ giãn nở nhanh chóng đạt đến giá trị ổn định. Trên thực tế, sau khi bong bóng đạt tới kích thước vĩ mô, áp suất thường được khôi phục về giá trị ban đầu và bong bóng bắt đầu co lại. Chúng ta sẽ mô hình hóa trường hợp này bằng cách xem xét một bong bóng vĩ mô đang ở trạng thái cân bằng, và áp suất bên ngoài nó đột ngột tăng lên. Nếu có không khí trong bong bóng, sau khi bị co lại tới một kích thước tối thiểu thì bong bóng giãn trở lại. Mặt khác, một bong bóng chỉ chứa hơi sẽ bị hòa tan hoàn toàn vào nước với tốc độ co tăng không giới hạn khi bán kính của bong bóng giảm về không.

Trên thực tế, vào cuối quá trình co, bong bóng sẽ không còn dạng hình cầu và hệ số chịu nén của nước sẽ trở nên quan trọng.

Tuy nhiên, chúng ta sẽ bỏ qua những hiệu ứng này trừ khi được nêu rõ trong câu hỏi.

Một câu hỏi thú vị khác là điều gì xảy ra khi sóng âm truyền qua nước có chứa bong bóng. Trong thực tế, không chỉ các bong bóng dao động theo dao động áp suất, mà sóng âm còn tạo ra chuyển động tịnh tiến của bong bóng. Những hiệu ứng này có thể được sử dụng để điều khiển bong bóng với sự trợ giúp của sóng âm. Ví dụ, trong hiệu ứng cavitation tạo bởi sóng âm, siêu âm cường độ cao được sử dụng để tạo ra bọt khí hoặc gây ra sự co lại của bong bóng.

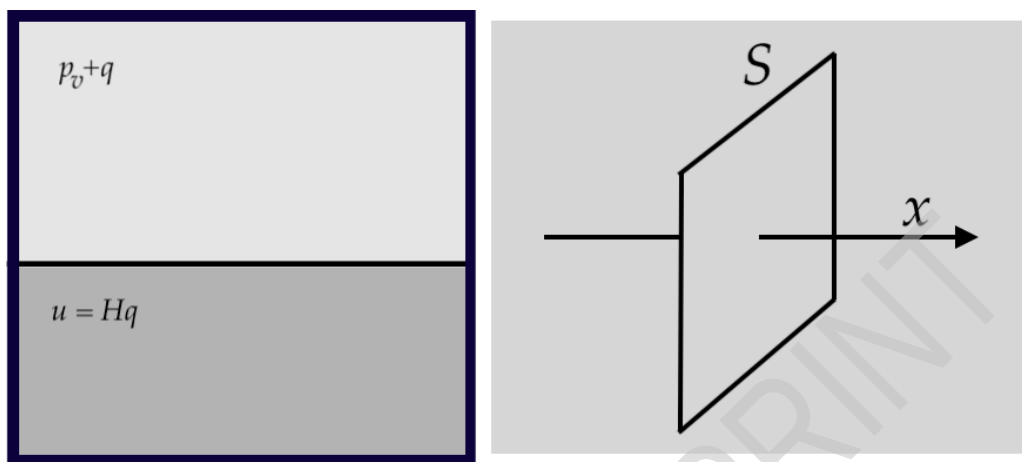
Cuối cùng, có một loại nghịch lý liên quan đến sự tồn tại của *màng* ngay từ đầu. Lý thuyết dự đoán rằng trừ khi không khí đã hòa tan trong nước đến trạng thái bão hòa, sự khuếch tán của không khí từ bất kỳ *màng* nào vào nước qua mặt tiếp xúc giữa khí và nước sẽ dẫn tới việc hòa tan hoàn toàn các *màng* chỉ trong vài giây.

Tuy nhiên, trên thực tế, các *màng* có kích thước micromet tồn tại trong nước và rất khó để loại bỏ chúng. Chúng ta sẽ xem xét một trong số những lý giải cho nghịch lý này, đó là sự tồn tại của các kẽ hở nhỏ trên thành hoặc các hạt rắn trong nước hoạt động như các túi siêu nhỏ chứa khí và hơi nước.

Các thông tin có thể hữu ích

Áp suất hơi

Xét một bình kín chứa nước và không khí. Nếu không khí quá khô, thì độ ẩm của nó sẽ tăng lên do sự bốc hơi của nước. Nếu không khí quá ẩm ướt, thì độ ẩm của nó sẽ giảm do ngưng tụ. Như vậy, ở trạng thái cân bằng, áp suất riêng phần của hơi nước trong không khí là một hàm của nhiệt độ $p_v = p_v(T)$.



Hình 3. (a) Bình kín chứa không khí và nước ở trạng thái cân bằng (b) Dòng khuếch tán qua bề mặt S tỷ lệ với tốc độ thay đổi (gradient) nồng độ của chất khuếch tán qua bề mặt S

Bây giờ, nếu bong bóng thay đổi thể tích ngay lập tức, thì độ ẩm bên trong bong bóng sẽ mất cân bằng với nước xung quanh và trạng thái cân bằng mới đạt được bằng cách ngưng tụ hoặc bay hơi. Trong thực tế, quá trình này diễn ra nhanh đến mức chúng ta có thể giả định rằng trạng thái cân bằng luôn được duy trì. Hơn nữa, sự thu hay tỏa nhiệt bởi nước xung quanh trong quá trình này là không đáng kể, do đó nhiệt độ coi như không đổi. Tóm lại, chúng ta giả sử rằng áp suất riêng phần của hơi nước trong bong bóng luôn bằng p_v ở mọi thời điểm.

Định luật Henry

Trong khi khái niệm về áp suất hơi giúp chúng ta nghiên cứu thành phần hơi nước trong bong bóng, định luật Henry giúp một phần khí nghiên cứu thành phần không khí trong bong bóng. Xét một bình kín chứa nước và không khí, ở trạng thái cân bằng, nồng độ của không khí hòa tan trong nước tỉ lệ thuận với áp suất riêng phần của không khí trên mặt nước:

$$u = Hq$$

ở đây, u là nồng độ không khí trong nước, H được gọi là hằng số Henry, và q là áp suất riêng phần của không khí tiếp giáp với mặt nước. Như ở phần trước, giả thiết rằng trạng thái cân bằng của thành phần không khí theo nghĩa của định luật Henry được duy trì ít nhất ở vùng lân cận bong bóng tại mọi thời điểm và không gây ra bất kỳ sự thay đổi nhiệt độ nào.

Định luật Fick

Để bổ sung cho định luật Henry, chúng ta cần biết cách không khí hòa tan trong nước di chuyển từ nơi có nồng độ cao đến nơi có nồng độ thấp.

Định luật Fick phát biểu rằng dòng khuếch tán qua diện tích S tỷ lệ thuận với tốc độ thay đổi nồng độ dọc theo hướng vuông góc với S , xem Hình 3: $J = \kappa \frac{\partial u}{\partial x}$

Ở đây, dòng khuếch tán J là lượng không khí chuyển qua bề mặt trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian, κ là hệ số khuếch tán, và giả thiết rằng trục tọa độ x vuông góc với mặt S . Khi u là một hàm số của x và các biến khác, ký hiệu $\frac{\partial u}{\partial x}$ có nghĩa là đạo hàm riêng, lấy đạo hàm của u theo biến x khi coi tất cả các biến khác là không đổi.

Phương trình khuếch tán.

Nếu ta cần tìm một hàm số $w = w(x, t)$ trong góc phần tư thứ nhất $Q = \{(x, t) : x > 0, t > 0\}$ thỏa mãn $\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$ trong Q , và $\begin{cases} w(x, 0) = f(x) & \text{khi } x > 0, \\ w(0, t) = 0 & \text{khi } t > 0, \end{cases}$ thì nghiệm có dạng: $w(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi t}} \int_0^\infty (e^{-(x-y)^2/(4t)} - e^{-(x+y)^2/(4t)}) f(y) dy$.

Tích phân Gaussian

Tích phân sau đây có thể có ích. $\int_0^\infty e^{-bx^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{b}}$, $\int_0^\infty x^2 e^{-bx^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4b\sqrt{b}}$ ($b > 0$).

Ký hiệu và giá trị của các tham số

Trong Bảng 1, chúng ta liệt kê các ký hiệu được sử dụng trong bài toán này và các giá trị điển hình của một số hằng số quan trọng.

ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
ρ	khối lượng riêng của nước	997 kg/m ³
p_∞	áp suất nước ở cách xa bong bóng	101 kPa
p_v	áp suất hơi nước	2340 Pa
σ	Suất căng bề mặt	72.8 · 10 ⁻³ N/m
R	bán kính bong bóng	
R_0	bán kính ban đầu của bong bóng	10 ⁻⁵ m
δ	khối lượng riêng của không khí	1.29 kg/m ³
q	áp suất riêng phần của không khí trong bong bóng	
q_0	giá trị ban đầu của q	
γ	Hệ số đoạn nhiệt của không khí	1.4
u	nồng độ không khí hòa tan trong nước	
κ	hệ số khuếch tán của không khí trong nước	2 · 10 ⁻⁹ m ² /s
H	Hằng số Henry của không khí trong nước	0.24 · 10 ⁻⁶ s ² /m ²
t	thời gian	
f_0	tần số riêng	

Giả thiết

Trừ khi được quy định khác, trong cả bài toán này, chúng ta giả định như sau.

- Nước không chịu nén, không nhớt và đồng nhất.
- Nước lấp đầy toàn bộ không gian.
- Bỏ qua sự thay đổi áp suất do trọng trường.
- Nhiệt độ không đổi theo không gian và thời gian.
- Chỉ có một bong bóng duy nhất.

- Bong bóng duy trì dạng hình cầu và không có chuyển động tịnh tiến.
- Không có sự di chuyển của không khí giữa bong bóng và nước xung quanh.
- Không khí là khí lý tưởng.

Phần A: Phân tích sơ bộ [1.5 điểm]

Đây là những câu hỏi khởi động để có cảm nhận ban đầu về hiện tượng.

A.1 Bằng cách phân tích thứ nguyên đơn giản, ước tính thời gian co lại T của bong bóng chỉ chứa hơi, theo bán kính ban đầu R_0 của bong bóng, khối lượng riêng ρ của nước, áp suất p_∞ của nước và áp suất hơi p_v .
Coi các hằng số chưa biết trong công thức bằng 1, tính giá trị của T với $R_0 = 1 \text{ mm}$ và các đại lượng ρ, p_∞, p_v lấy theo bảng 1. Giả sử không có sức căng bề mặt: $\sigma = 0$. 0.5pt

A.2 Giả sử một *màng* chứa không khí và hơi nước, có bán kính $R_0 = 10^{-5} \text{ m}$, ở trạng thái cân bằng khi áp suất bên ngoài là $p_\infty = 101 \text{ kPa}$. Tính áp suất riêng phần q_0 của không khí trong bong bóng. Bây giờ giả sử rằng áp suất bên ngoài p_∞ giảm dần, và không khí trong bong bóng tuân theo quá trình đẳng nhiệt. Tìm áp suất tới hạn p_c , được xác định bởi điều kiện là nếu $p_\infty < p_c$ thì kích thước bong bóng sẽ tăng không giới hạn lấy theo các giá trị trong bảng 1. 1.0pt

Phần B: Động lực học [6.0 điểm]

Bây giờ chúng ta sẽ nghiên cứu chi tiết động lực học của một bong bóng hình cầu chứa hỗn hợp không khí và hơi nước.

Giả sử rằng không có sự di chuyển của không khí qua màng bong bóng và do đó toàn bộ động lực học chỉ bị chi phối bởi áp suất. Tuy nhiên, lưu ý rằng, như đã đề cập, sẽ có sự bay hơi và ngưng tụ hơi nước trên màng bong bóng giúp duy trì áp suất hơi p_v bên trong bong bóng.

B.1 Giả sử một bong bóng hình cầu duy nhất nằm trong nước lấp đầy không gian một cách đồng đều và bong bóng đó có thể thay đổi kích thước mà không thay đổi hình dạng do những nguyên nhân chẳng hạn như áp suất bên ngoài p_∞ thay đổi. Hãy thiết lập phương trình liên hệ bán kính bong bóng $R(t)$ và các đạo hàm theo thời gian $R'(t)$ và $R''(t)$, suất căng bề mặt σ , khối lượng riêng ρ của nước, áp suất p_∞ của nước ở xa bong bóng và áp suất p bên trong bong bóng. Sau đó tách áp suất p thành hai thành phần bằng cách giả sử rằng bong bóng chứa cả hơi nước (với áp suất riêng phần p_v) và không khí. Không khí trong bong bóng tuân theo quá trình đoạn nhiệt với hệ số γ . Để đưa ra một điểm tham chiếu, áp suất riêng phần của không khí phải bằng q_0 khi bán kính bong bóng bằng R_0 . Giả sử rằng sự bay hơi, ngưng tụ hoặc truyền của không khí giữa bong bóng và nước xung quanh không ảnh hưởng đến thể tích nước. 1.5pt

B.2 Một bể nước chịu áp suất bên ngoài $p_\infty^- = 101 \text{ kPa}$, chứa một *màng* có bán kính $R_0 = 10^{-5} \text{ m}$ ban đầu ở trạng thái cân bằng, được cho tiếp xúc với chân không, do đó hệ độ ngọt có $p_\infty = 0$. Ước tính giá trị cuối cùng (tiệm cận) của tốc độ giãn R' và thời gian để đạt tới giá trị này. 1.0pt

B.3 Một bể nước chịu áp suất bên ngoài $p_{\infty}^- = 1.600 \text{ kPa}$, chứa một bong bóng chứa khí có bán kính $R_0 = 10^{-5} \text{ m}$ ban đầu ở trạng thái cân bằng, được cho tiếp xúc với áp suất khí quyển $p_{\infty} = 101 \text{ kPa}$. Ước tính bán kính nhỏ nhất của bong bóng trước khi nó giãn nở trở lại. 1.0pt

B.4 Nếu không có khí nào khác ngoài hơi nước trong bong bóng, thì bong bóng sẽ co lại hoàn toàn sau một khoảng thời gian hữu hạn. Xác định hệ số mũ đặc trưng α trong biểu thức $R(t) \sim (T - t)^{\alpha}$, với T là thời gian co lại. 0.5pt

B.5 Dựa vào phương trình thu được trong phần B.3, tìm tần số dao động riêng của bong bóng hình cầu có bán kính $R_0 = 0.1 \text{ mm}$. 1.0pt

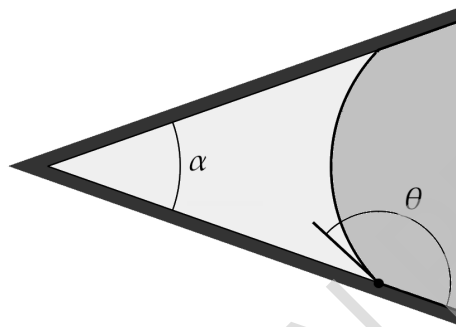
B.6 Giả sử rằng bong bóng được mô tả ở phần trước chịu tác dụng của sóng âm dừng dọc theo trục x , có trường áp suất được cho bởi $p(x, t) = p_0 + A \sin\left(\frac{2\pi f}{c}(x + a)\right) \sin(2\pi f t)$, trong đó f là tần số và c vận tốc truyền âm. Các thông số p_0 , A và a là những hằng số, ý nghĩa của chúng có thể dễ dàng thấy được từ phương trình. Tìm lực trung bình tác dụng lên bong bóng. Bong bóng nằm ở gốc của hệ tọa độ xyz và kích thước của nó nhỏ hơn rất nhiều so với bước sóng của sóng âm. 1.0pt

Phần C: Sự hòa tan mầm thông qua khuếch tán [2.5 điểm]

Trong phần cuối này, bổ sung cho Phần B, chúng ta tập trung vào hiệu ứng khuếch tán qua màng bong bóng.

C.1 Giả sử các *mầm* chứa không khí và hơi nước, có bán kính $R_0 = 10^{-5} \text{ m}$, được đặt trong dung dịch nước-không khí, trong đó không khí hòa tan ở trạng thái cân bằng với áp suất khí quyển trên mặt nước. Áp suất riêng phần của không khí trong bong bóng là $q = 1.70 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, và có thể bỏ qua áp suất hơi nước. Ước tính thời gian cần thiết để bong bóng bị tan hoàn toàn vào nước. Các đại lượng p_{∞} , κ , δ và σ có giá trị như trong Bảng 1. Giả sử rằng khu vực bao quanh bong bóng, trong đó xảy ra sự khuếch tán không khí ngay lập tức, lớn hơn rất nhiều so với kích thước của bong bóng. 2.0pt

- C.2** Xét một khe hình nón ở thành bể chứa nước với góc mở α , xem hình vẽ. Một lượng nhỏ khí và hơi nước bị nhốt trong khe. Viết điều kiện cân bằng cơ học và cân bằng khúc xạ. Xác định trong điều kiện nào thì túi khí trong khe còn tồn tại. Góc tiếp xúc giữa nước và thành khe là θ . 0.5pt



Khe hình nón

Hướng dẫn chung: Bài thi Thực hành

Thời gian làm Bài thi thực hành là 5 giờ với tổng điểm là 20

Trước giờ thi

- Em không được phép mở phong bì đề trước khi có tín hiệu báo bắt đầu giờ thi
- Sẽ có tín hiệu âm thanh thông báo bắt đầu và kết thúc giờ thi. Sẽ có thông báo sau mỗi giờ làm bài và 15 phút trước khi hết giờ thi (15 phút trước tín hiệu âm thanh báo hết giờ).

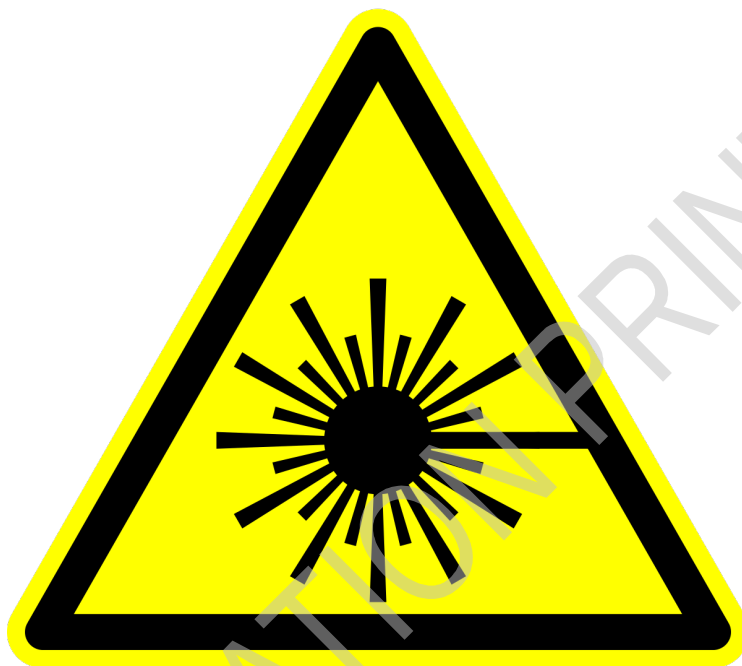
Trong khi làm bài thi

- Phiếu trả lời được cung cấp để em viết câu trả lời. Hãy điền các kết quả vào các bảng, ô hay đồ thị thích hợp trong phiếu trả lời tương ứng (được đánh dấu A). Đối với mọi bài, có thêm các tờ giấy làm bài để em ghi bài làm chi tiết (được đánh dấu W). Chú ý luôn sử dụng các giấy làm bài đúng với bài mà em đang làm (kiểm tra khớp số thứ tự bài trong tiêu đề của các giấy làm bài). Nếu em đã viết ở bất kỳ chỗ nào mà em không muốn được chấm điểm thì hãy gạch chéo. Em chỉ được viết vào mặt trước của mỗi tờ.
- Trong các câu trả lời, em cố gắng viết ngắn gọn nhất có thể: sử dụng các phương trình, ký hiệu logic và hình vẽ để minh họa suy nghĩ của em mỗi khi có thể. Tránh sử dụng các câu dài.
- **Tính toán sai số là không cần thiết trừ khi em được yêu cầu phải tính.** Tuy nhiên, em cần làm tròn đến số các chữ số có nghĩa thích hợp khi trình bày kết quả bằng số. Hơn nữa em cần tự quyết định số các điểm dữ liệu thích hợp hoặc số lần lặp lại phép đo cần thiết trừ khi có yêu cầu cụ thể.
- Đôi khi em có thể làm phần sau trước mà không nhất thiết phải làm xong các phần trước đó.
- Em không được rời khỏi bàn thi của em mà không được phép. Nếu cần bất kì sự trợ giúp nào (thêm nước uống vào chai, trực trực máy tính, đi vệ sinh...) vui lòng cầm một trong ba lá cờ vào giá trên bàn của em để thông báo cho người hướng dẫn nhóm biết ("Refill my water bottle, please" nếu em cần thêm nước uống, "I need to go to the toilet, please" nếu em cần đi vệ sinh, hoặc "I need help, please" trong tất cả các trường hợp khác).

Khi hết giờ làm bài

- Hãy dừng bút ngay khi được thông báo hết giờ.
- Đối với mỗi bài, hãy sắp xếp các tờ tương ứng theo thứ tự sau: Hướng dẫn chung (G), đề thi (Q) tiếp theo đến phiếu trả lời (A), giấy làm bài (W).
- Xếp tất cả các tờ giấy của cùng một bài vào một phong bì. Tờ giấy hướng dẫn chung (G) được cho vào riêng một phong bì còn lại. Hãy chắc chắn rằng mã học sinh của em có thể được nhìn thấy qua ô cửa sổ của mỗi phong bì. Các tờ giấy trắng khác cũng cần được xếp lại. Em không được phép mang bất kỳ tờ giấy nào ra khỏi khu vực thi.
- Em hãy ngồi đợi tại bàn thi cho đến khi các phong bì trên bàn của em được thu lại. Ngay sau khi tất cả các phong bì được thu, em sẽ được hướng dẫn ra khỏi khu vực thi. Em hãy cầm theo túi đựng dụng cụ làm bài và nộp lại ở lối ra. Em có thể cầm theo chai nước.

Chú ý



BỨC XẠ LAĐE RẤT NGUY HIỂM, KHÔNG ĐƯỢC ĐỂ LAĐE CHIẾU TRỰC TIẾP VÀO MẮT.

Experiment



G0-3

Vietnam Ex Final (Vietnam)

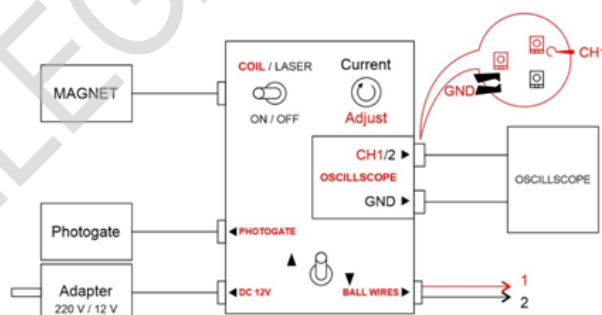
Hướng dẫn căn chỉnh Dao động ký Siglent SDS 1152CML+

1. Đầu tiên để thu được dạng sóng trên màn hình, hãy nối đầu cáp đồng trục BNC (A) với đầu vào CH1 và đầu móc (B) với chốt xung vuông 1 KHz. Sau đó nhấn nút [Auto], Dao động ký sẽ tự động thu được dạng sóng (Hình 1).



Hình 1

2. Tháo đầu móc (B) khỏi chốt kiểm tra và nối với chân CH1 của hộp nối điện như trên Hình 2



Hình 2

3. Di chuyển trục Trigger (có kí hiệu chữ T ở trên màn hình) đến trục ngang bằng nút xoay Level.

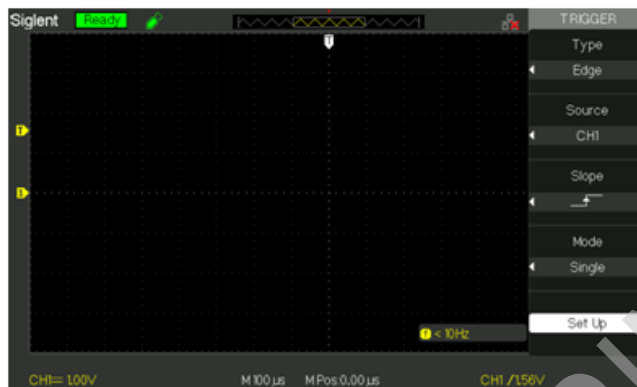
4. Kiểm tra các điều kiện thí nghiệm bằng cách ấn nút [Trigger Menu]. Màn hình sẽ hiển thị như Hình 3.

Experiment



G0-4

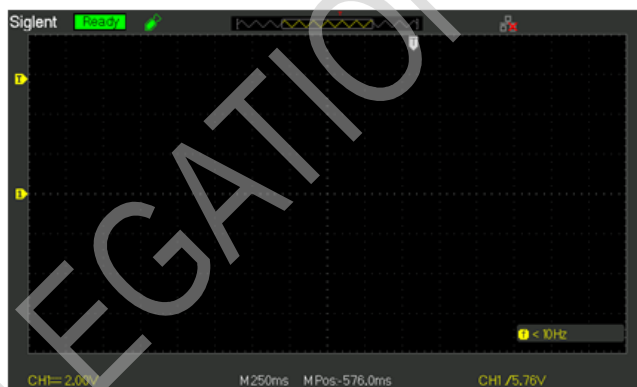
Vietnam Ex Final (Vietnam)



Hình 3

5. Điện áp kênh 1 (CH1) được chỉnh tới 2 V bằng nút Variable ứng với CH1 ở vùng Vertical.

6. Thang đo nên chỉnh ở 250 ms bằng việc xoay nút Zoom ở vùng Horizontal.



Hình 4

7. Sau khi dính quả cầu vào nam châm điện, nếu nút Run/Stop có màu đỏ thì ấn nút này một lần, khi đó nút sẽ chuyển từ đỏ sang xanh.

8. "Ready" sẽ hiện trên màn hình ở góc trên bên trái.

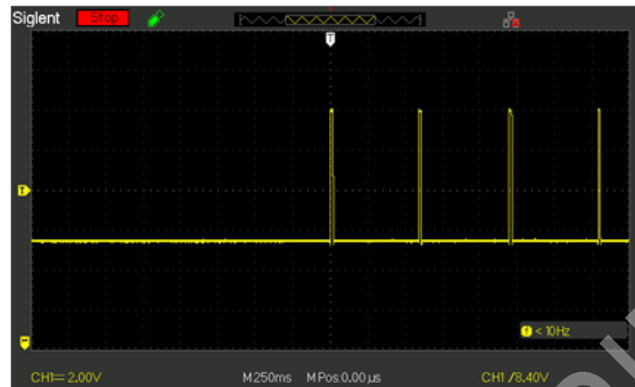
9. Để bắt đầu đo hãy thả quả cầu khỏi nam châm điện (công tắc ON/OFF trên hộp nối điện dùng bật tắt nam châm điện).

Experiment



G0-5

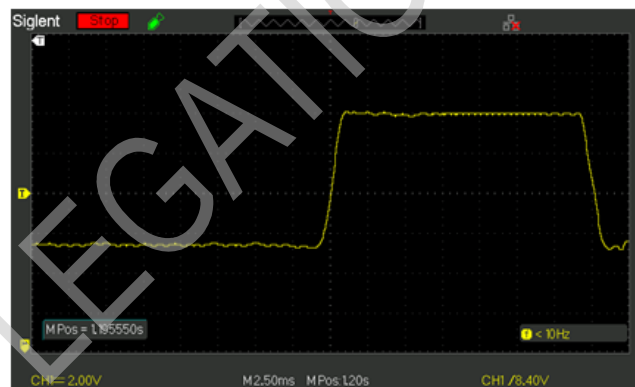
Vietnam Ex Final (Vietnam)



Hình 5

10. Giá trị Δt nhận được bằng việc đo độ rộng của xung thứ 3.

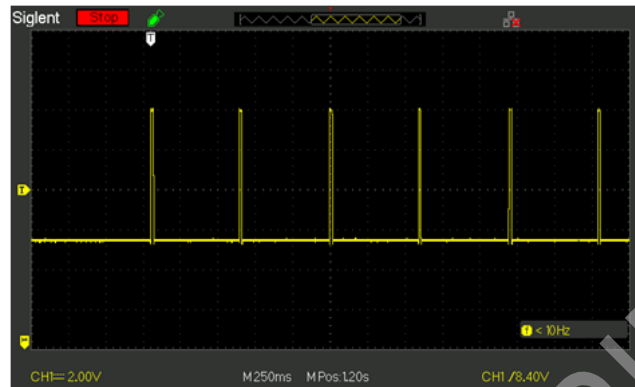
11. Đo độ rộng của xung thứ 3 với 7 chữ số có nghĩa. Khi em xoay Position trong vùng Horizontal để dịch chuyển tín hiệu theo phương ngang em sẽ thấy giá trị M Pos hiện ở góc trái bên dưới màn hình (ví dụ trong hình 6 có M Pos=1.195550s).



Hình 6

Dấu T trắng ở cạnh bên trái phía trên màn hình và chỉ hướng sang trái nghĩa là vị trí kích hoạt (trigger) ở bên ngoài màn hình và thời gian từ vị trí kích hoạt đến tâm màn hình được đo với 7 chữ số có nghĩa.

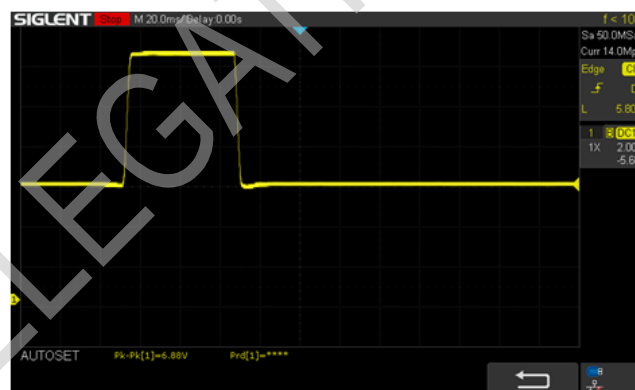
12. Với thí nghiệm dùng dao động ký em không nên sử dụng xung đầu tiên do tín hiệu này bị ảnh hưởng bởi sự từ hóa và sự đàn hồi của dây. Do đó phải dùng cặp xung thứ 2 và thứ 4 hoặc cặp xung thứ 3 và thứ 5 để xác định chu kỳ dao động hoặc đo tốc độ. Để đo thời gian với xung thứ n, em hãy chỉnh thang chia thời gian ở 250 ms, sau đó em thực hiện phép đo phía sau. Dùng nút position ở vùng Horizontal đưa xung thứ n về trung tâm màn hình. Chỉnh thang chia thời gian xuống giá trị nhỏ hơn để mở rộng dạng xung. Để đo độ rộng xung, em dịch điểm giữa của cạnh xung phía tăng đến tâm của màn hình. Xoay nút position ở vùng Horizontal để xác định chính xác giá trị thời gian hiển thị trên màn hình (Mpos). Tiếp theo, tăng thời gian (vặn nút position) để dịch điểm giữa của cạnh xung phía giảm tới tâm của màn hình, đọc chính xác giá trị thời gian hiển thị. Độ chênh của hai giá trị này là giá trị độ rộng xung với độ chính xác cao.



Hình 7

Dao động kí Siglent SDS 1202X-E

1. Phần thực hành đầu tiên tương tự như với Siglent SDS 1152CML+ oscilloscope.
2. Nối cổng quang (Photogate) với đầu vào dao động ký và cho quả cầu dao động.
3. Ấn nút màu xanh [Auto setup], màn hình sẽ hiển thị như hình vẽ.



Hình 8

Dạng xung có thể không ổn định. Xoay núm thang thời gian (Time division knob) tới 20 ms. Khi xung hiện trên màn hình hãy ấn nút (Run/Stop) để khóa tín hiệu.

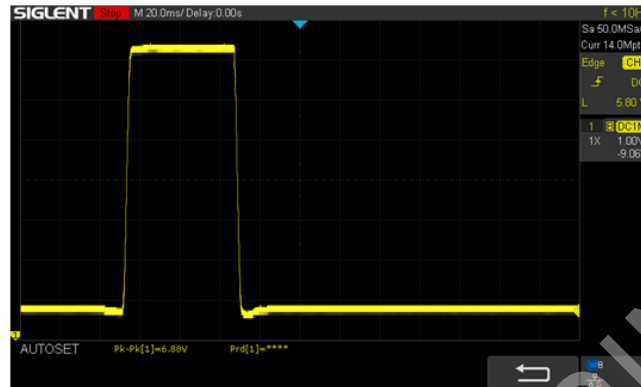
4. Sử dụng núm position ở vùng vertical và núm chỉnh điện áp (Volts/division knob) để đưa tín hiệu về tâm màn hình.

Experiment



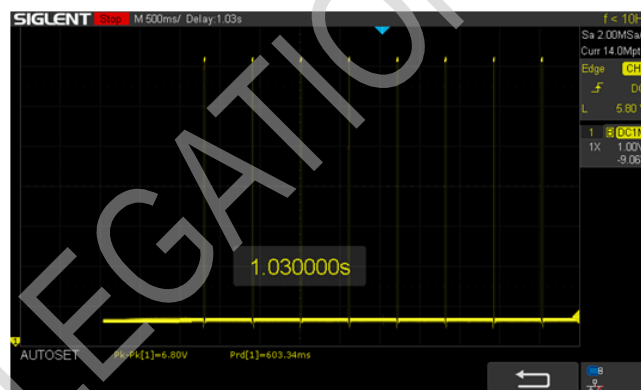
G0-7

Vietnam Ex Final (Vietnam)



Hình 9

5. Thay đổi thang thời gian tới giá trị 500 ms. Dính quả cầu vào nam châm điện và ấn nút [Single], màn hình sẽ trống, tiếp theo thả quả cầu từ nam châm điện bằng cách chuyển công tắc trên hộp nối điện sang vị trí OFF. Xung lấy từ cổng quang sẽ được ghi vào bộ nhớ của dao động kí.



Hình 10

Chú ý tam giác màu xanh ở giữa phía trên màn hình. Đây là gốc 0 của thời gian. Bằng cách xoay núm position ở vùng Horizontal em có thể dịch chuyển xung thứ 3 về giữa. Xung thứ 2 và thứ 4 cũng có thể được dùng. Không dùng xung đầu tiên do ảnh hưởng của sự từ hóa và sự đàn hồi của dây treo.

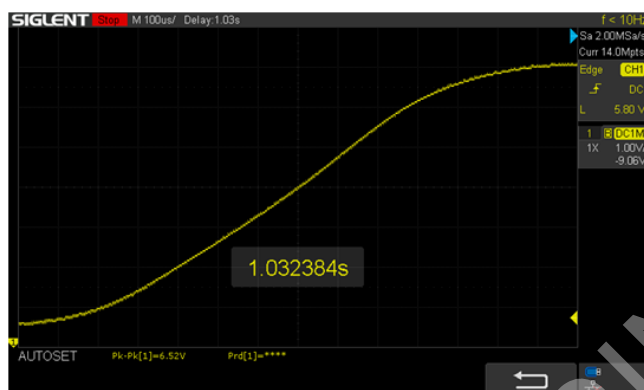
6. Khi em thay đổi thang chia thời gian tới giá trị 100 us và bằng cách xoay núm position ở vùng Horizontal đưa điểm giữa cạnh phía tăng của xung tới chính xác tâm màn hình. Ở giữa màn hình em sẽ nhận được giá trị chính xác chênh lệch thời gian so với gốc (xem hình 11).

Experiment



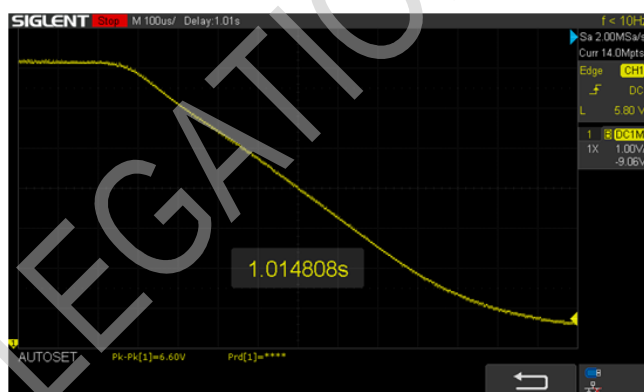
G0-8

Vietnam Ex Final (Vietnam)



Hình 11

7. Chỉnh thang chia thời gian về 20 ms rồi xoay núm position ở vùng Horizontal đưa cạnh phía giảm của xung về tâm màn hình. Tiếp tục thay đổi thang chia thời gian về 100 μ s và điều chỉnh để điểm giữa cạnh đứng tâm màn hình, em sẽ nhận được giá trị chính xác khác của thời gian. Độ chênh của các giá trị thời gian này là độ rộng xung.



8. Tiếp theo em chọn cạnh phía tăng của xung thứ 5 và lặp lại. Bây giờ em có thể xác định chính xác chu kỳ dao động từ phép đo này.

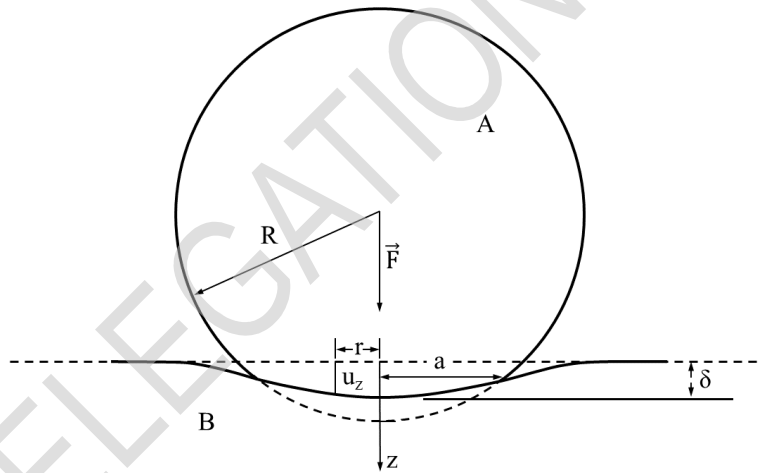
Ứng suất tiếp xúc Hertzian [10 điểm]

Em hãy đọc hướng dẫn chung trước khi bắt đầu bài này.

Mở đầu

Lí thuyết tiếp xúc Hertzian là lí thuyết cổ điển về cơ học tiếp xúc và là công cụ hữu ích cho các nhà kỹ sư và các nhà nghiên cứu. Mặc dù để diễn giải lí thuyết là tương đối khó khăn, nhưng nghiệm cuối cùng là tập hợp các phương trình giải tích đơn giản liên quan đến các tính chất của hệ với ứng suất hình thành. Lí thuyết tiếp xúc Hertz rút ra từ nghiệm giải tích của các phương trình lí thuyết đàn hồi sử dụng gần đúng nửa không gian:

1. Một trong các bề mặt là một nửa không gian (một trong hai vùng được hình thành khi một mặt phẳng phân chia không gian 3D Euclidean) mở rộng vô hạn (Hình 1).
2. Phân bố áp suất có dạng parabol (Phương trình 2)
3. Mô hình nửa không gian vô hạn này có thể dùng cho hai quả cầu có kích thước giống nhau hoặc khác nhau.



Hình 1 (A - Quả cầu, B - Vùng nửa không gian vô hạn)

Nếu chỉ có các lực theo phương đứng tác dụng lên bề mặt, độ cong đàn hồi của bề mặt dưới áp suất tác dụng được cho bởi phương trình:

$$u_z(x, y) = \frac{2\pi}{E'} \iint \frac{p(x', y')}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} dx' dy' \quad (1)$$

Ở đây u_z là độ cong đàn hồi, $\frac{1}{E'} = \frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}$ là suất đàn hồi rút gọn, ν_1, E_1, ν_2, E_2 tương ứng là tỉ số Poisson và suất Young (các giá trị này là không đổi với các quả cầu đã cho và sẽ được cho khi tính toán ở nhiệm vụ E.1) của các quả cầu, $p(x, y)$ là áp suất tiếp xúc. Nếu phân bố áp suất là bất kì, phương trình này sẽ không dẫn đến nghiệm giải tích. Tuy nhiên, nghiệm Hertz nhận được khi giả định phân bố áp suất

dạng parabol, đây là phép tính gần đúng rất tốt cho các vật dạng hình cầu, elip hoặc hình trục tiếp xúc:

$$p(r) = p_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^{1/2} \quad (2)$$

ở đây r là khoảng cách đến điểm tùy ý trên bề mặt và a là thông số gọi là bán kính tiếp xúc Hertz. Thông số p_0 là áp suất Hertz lớn nhất. Thay vào phương trình (1) về độ cong ta thu được biểu thức về áp suất Hertzian:

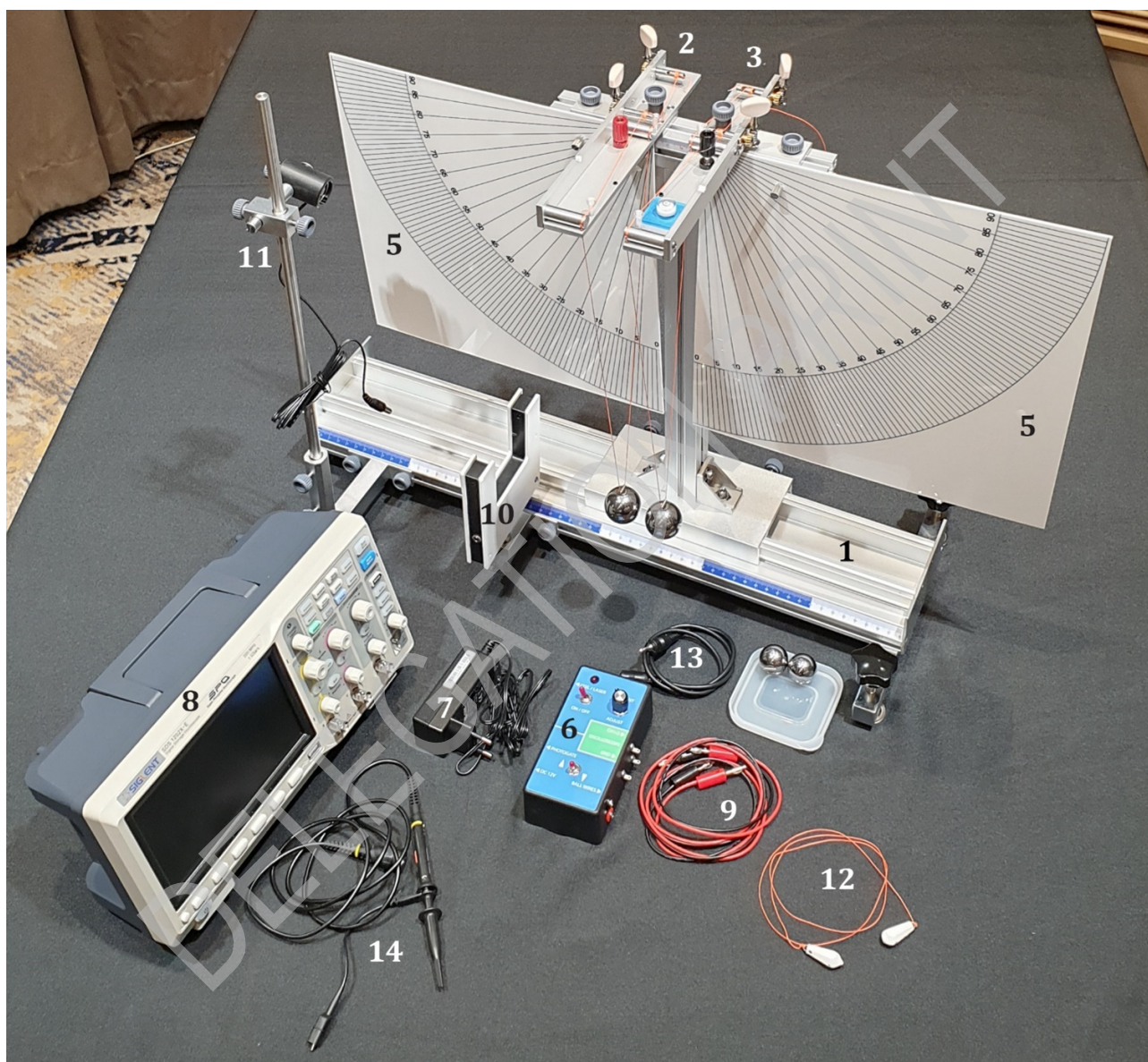
$$u_z = \frac{\pi p_0}{4E'a} (2a^2 - r^2), r \leq a \quad (3)$$

Bài thí nghiệm gồm hai phần: Con lắc góc lớn và va chạm của hai quả cầu.

Các lưu ý chung về an toàn:

1. Đảm bảo tắt thiết bị trước khi cắm/rút nguồn điện. Hỏng hóc có thể xảy ra.
2. Không được thay đổi cài đặt dao động ký (oscilloscope) trừ khi được hướng dẫn trong bài thi.
3. Cần thận không làm đổ nước uống lên thiết bị điện tử và ổ cắm điện gần đó.
4. Không tháo rời bộ thí nghiệm đã được thiết lập trừ khi em đã hoàn thành bài. Em có thể không lắp lại được.

Apparatus



Hình 2

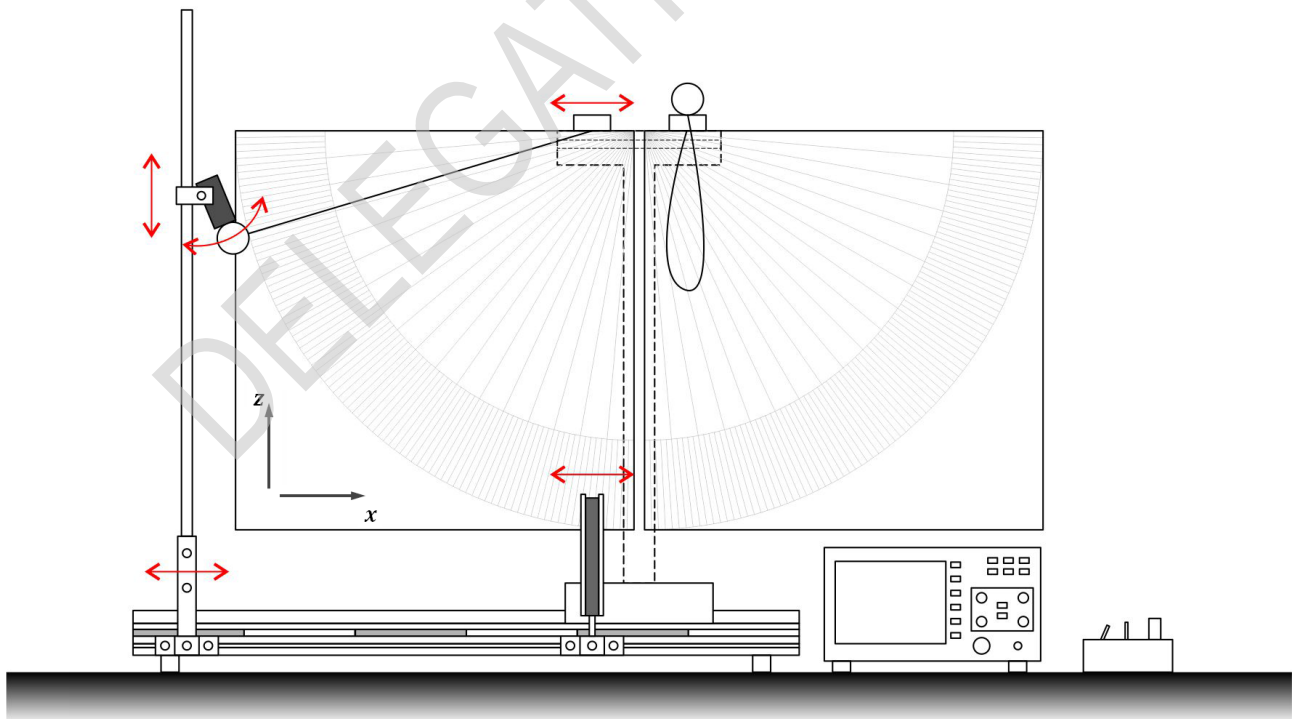
1. Ray thí nghiệm (Ray sẽ được dùng cho cả hai bài thí nghiệm).
2. Con lắc 1 có móc treo (Quả cầu lớn đã được treo sẵn)
3. Con lắc 2 có móc treo (Quả cầu lớn đã được treo sẵn)
4. Hai quả cầu nhỏ.
5. Giá đo góc gồm nửa trái và nửa phải
6. Hộp nối điện.

7. Adaptor nguồn.
8. Dao động kí với đầu đo (14).
9. Các dây nối dùng cho phép đo quả cầu tiếp xúc.
10. Cổng quang (Photogate) cho con lắc với cáp nối (13).
11. Bộ giữ quả cầu bằng nam châm điện có giá đỡ điều chỉnh.
12. Dây có hai quả dọi.

Phần A: Con lắc góc lớn [1.4 điểm]

Trong phần này, em cần xác định mối liên quan giữa tốc độ lớn nhất và biên độ góc của con lắc đơn dao động với các góc ban đầu từ lớn đến bé, khoảng góc khảo sát càng rộng càng tốt. Để sử dụng con lắc, em cần nắm được các kỹ thuật điều chỉnh vị trí quả cầu. Có hai núm điều chỉnh dây trên mỗi đầu dây treo con lắc. Các núm này dùng để điều chỉnh lên/ xuống quả cầu theo hướng z và trước/sau theo hướng y . Để điều chỉnh trái/phải quả cầu theo hướng x thì dùng cụm treo con lắc (Hình 3).

Nhiệm vụ phần này em chỉ dùng một con lắc đơn. Do đó hãy đặt quả cầu còn lại lên đầu của núm vặn đã được xiết chặt ở chỗ treo con lắc. Hãy lưu ý đến dây con lắc không dùng sao cho không làm ảnh hưởng đến chuyển động của con lắc em làm thí nghiệm.



Hình 3

- A.1** Hãy tìm độ dốc (gradient hoặc slope) của Δt^{-1} theo $\sin \frac{\varphi_0}{2}$. Ở đây φ_0 là góc ban đầu (là biên độ góc) của con lắc và Δt là khoảng thời gian quả cầu đi qua cổng quang. 1.2pt

Lưu ý 1. Để đo thời gian một cách chính xác trên Dao động ký số, em nên thực hiện các chỉ dẫn về dao động ký ở phần giới thiệu chung (G). Đặc biệt chú ý Model của dao động ký. Để tiết kiệm thời gian em nên thực hiện các phép đo cho nhiệm vụ B.1 cùng với nhiệm vụ này. Khi quả cầu được thả ra từ nam châm điện (ON/OFF - GIỮ/THẢ trên hộp nối điện), độ đàn hồi của dây và sự nhiễu từ của quả cầu có thể ảnh hưởng đến tốc độ ban đầu của quả cầu. Do đó em không được lấy số liệu ứng với tín hiệu đầu tiên nhận được từ cổng quang. Công tắc trên hộp nối điện ở vị trí photogate.

- A.2** Thiết lập phương trình tổng quát xác định tốc độ lớn nhất của quả cầu theo góc ban đầu của con lắc. 0.2pt

Phần B: Chu kỳ dao động [1.9 điểm]

Chu kỳ dao động của con lắc phụ thuộc và biên độ góc được cho bởi công thức sau.

$$T = T_0 \left(1 + \alpha \cdot \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \beta \cdot \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} + \dots \right) \quad (4)$$

Ở đây T_0 là chu kỳ dao động của con lắc đơn khi góc lệch nhỏ, α và β là các hệ số không đổi, φ_0 là biên độ góc ban đầu.

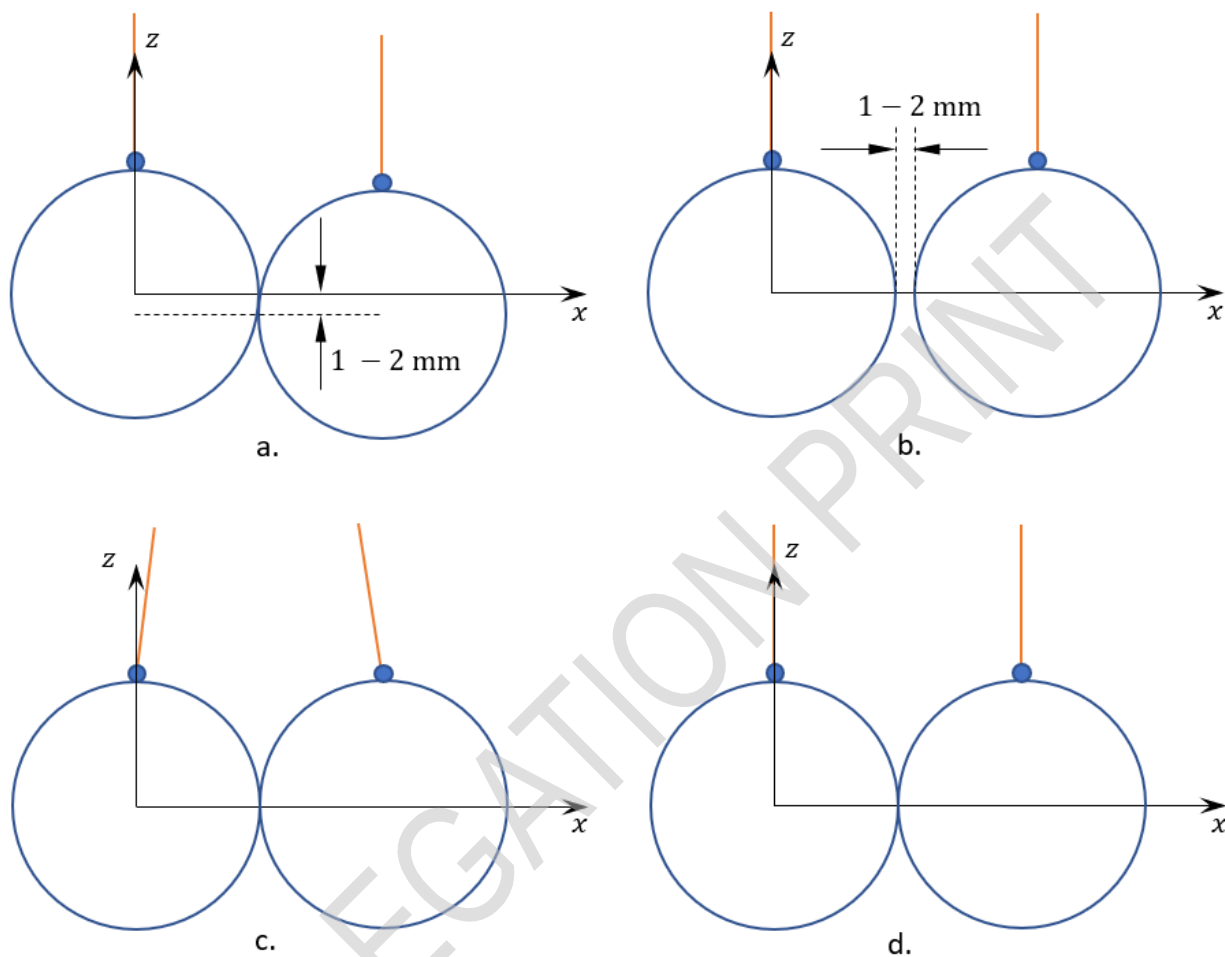
- B.1** Từ số liệu chu kỳ dao động đo được và mối quan hệ hàm $T = f(\varphi_0)$ hãy vẽ các đồ thị tuyến tính hóa. Chú ý cần chọn vùng số liệu cho từng phép tuyến tính khác nhau để nhận các hệ số. Hãy xác định T_0, α, β từ các đồ thị tuyến tính đó. 1.6pt
- Lưu ý 2. Để đo chu kỳ một cách chính xác trên Dao động ký số, em nên thực hiện các chỉ dẫn về dao động ký ở phần giới thiệu chung (G). Đặc biệt chú ý Model của dao động ký.

- B.2** Từ giá trị độ dốc nhận được trong nhiệm vụ A.1 và T_0 ở trong nhiệm vụ B.1 hãy tính chính xác giá trị gia tốc trọng trường ở Ulan Bator. Cho đường kính quả cầu là $d = 31.75\text{mm}$. 0.3pt

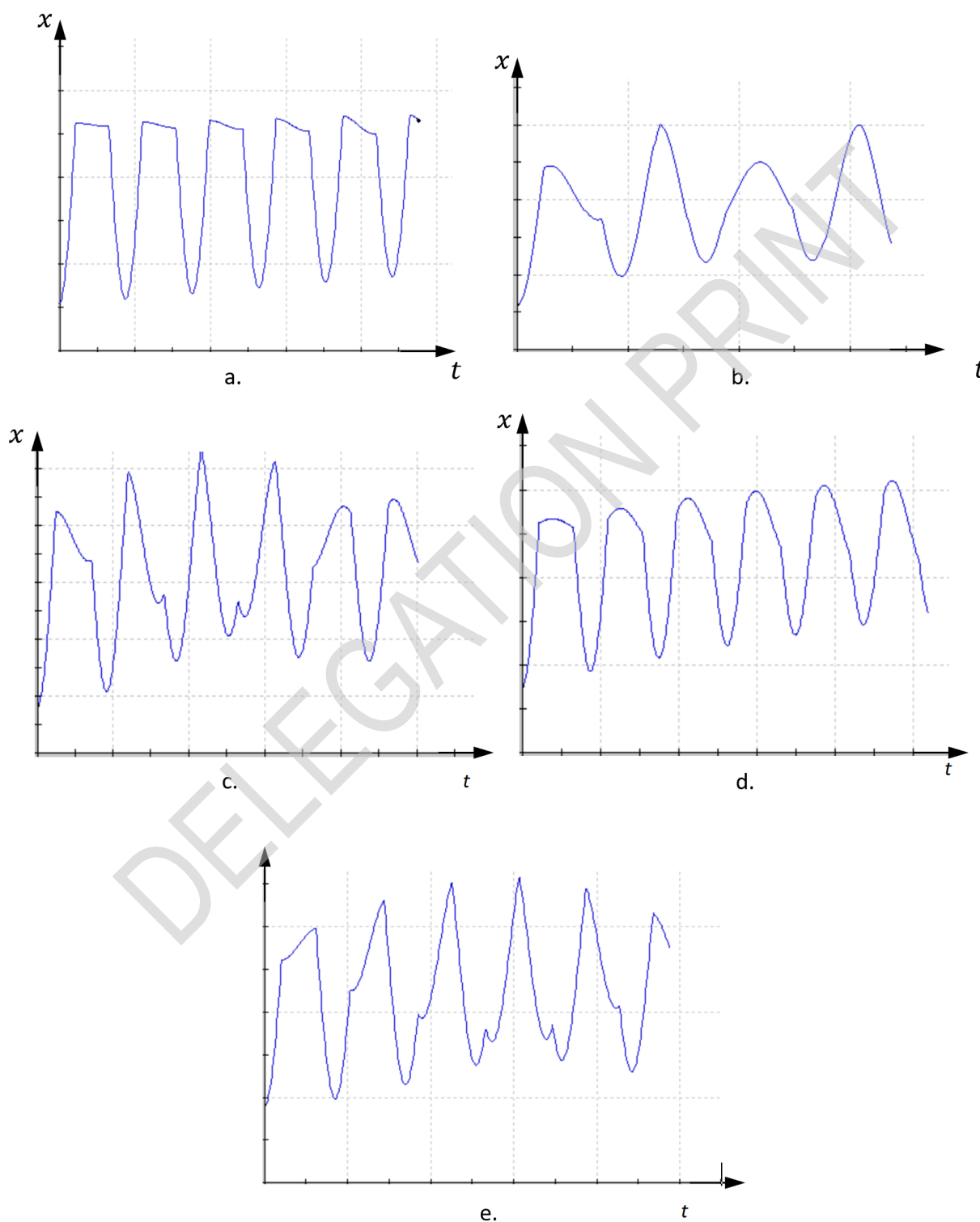
Phần C: Tính chất của các va chạm [0.7 points]

Các vị trí ban đầu và hiện trạng các quả cầu sẽ ảnh hưởng lớn đến lần va chạm đầu tiên và các quá trình va chạm tiếp theo: Vị trí và chạm, thời gian tiếp xúc và vị trí tiếp xúc của các quả cầu. Để làm phần này em hãy lưu ý đến các kỹ thuật điều chỉnh vị trí quả cầu và công tắc trên hộp nối điện ở vị trí Ball wires.

Trong phần này em khảo sát ảnh hưởng của vị trí tiếp xúc đến tính chất va chạm của hai quả cầu có kích thước giống nhau. Khảo sát tính chất va chạm cho từng trường hợp được mô tả trong các phần C.1-C.4 (ứng với các mô tả trong Hình 4) và đối với mỗi nhiệm vụ cần khớp giữa kết quả của từng bố trí thí nghiệm với đồ thị phụ thuộc thời gian ở Hình 5.



Hình 4

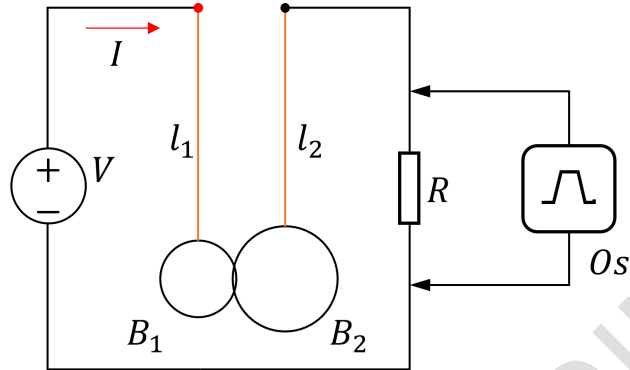


Hình 5

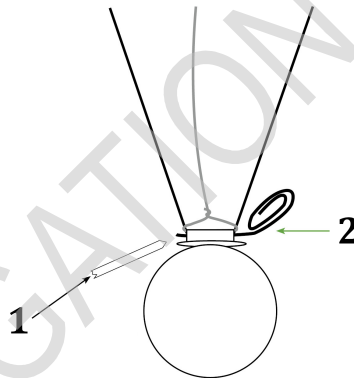
- C.1** Khi treo hai quả cầu và ổn định ở vị trí cân bằng, ta coi tâm của quả cầu thứ nhất là gốc của hệ tọa độ. Khi đó các vị trí có thể được mô tả như sau: Độ dịch giữa hai tâm của hai quả cầu theo hướng x là $d_x = 2R$, độ dịch theo hướng y là $d_y = 0$, độ dịch theo hướng z là $d_z \approx 1$ đến 2 mm và các cặp dây treo gần như song song (Hình 4.a). Khi quả cầu 2 đang ở vị trí cân bằng, quả cầu 1 được thả ra không vận tốc đầu từ một góc lệch trong khoảng từ 25° đến 30° . Quan sát bằng mắt ảnh hưởng của vị trí tiếp xúc đến tính chất va chạm của hai quả cầu có kích thước giống nhau. 0.2pt
- C.2** $d_x - 2R \approx 1 \text{ mm}$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ và hai cặp dây song song. Điều này có nghĩa là hai cụm treo quả cầu treo dịch chuyển ra xa nhau 1 mm (Hình 4.b). Khi quả cầu 2 đang ở vị trí cân bằng, quả cầu 1 được thả ra không vận tốc đầu từ một góc lệch trong khoảng từ 25° đến 30° . Quan sát bằng mắt ảnh hưởng của vị trí tiếp xúc đến tính chất va chạm của hai quả cầu có kích thước giống nhau. 0.2pt
- C.3** Hai quả cầu đang tiếp xúc, $d_x \approx 2R$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ và hai cụm treo các quả cầu nằm sát nhau. Trong trường hợp này các cặp dây không song song (Hình 4.c). Khi quả cầu 2 đang ở trạng thái cân bằng, quả cầu 1 được thả ra không vận tốc đầu từ một góc lệch trong khoảng từ 25° đến 30° . Quan sát bằng mắt ảnh hưởng của vị trí tiếp xúc đến tính chất va chạm của hai quả cầu có kích thước giống nhau. 0.2pt
- C.4** Hai quả cầu đang tiếp xúc, $d_x \approx 2R$, $d_y = 0$, $d_z = 0$ và hai cụm treo quả cầu tách rời nhau, các cặp dây là song song (Hình 4.d). Khi quả cầu 2 đang ở trạng thái cân bằng, quả cầu 1 được thả ra không vận tốc đầu từ một góc lệch trong khoảng từ 25° đến 30° . Quan sát bằng mắt ảnh hưởng của vị trí tiếp xúc đến hành vi va chạm của hai quả cầu có kích thước giống nhau. 0.1pt

Phần D: Thời gian va chạm [3.0 điểm]

Tiếp xúc Hertzian sẽ kéo dài trong một khoảng thời gian nhất định và sau đó các quả cầu sẽ rời nhau. Trong phần này, thời gian va chạm (τ) phụ thuộc vào các thông số nào của các quả cầu sẽ được nghiên cứu bằng cách thực hiện một số va chạm giữa các quả cầu có kích thước giống và khác nhau. Để đo thời gian tiếp xúc, mạch điện được sử dụng như Hình 6 với nút bật ở Ball wires trên hộp nối điện. Các dây nylon của con lắc chỉ dùng cho dao động, các dây kim loại mảnh nối tới các quả cầu để tạo mạch điện. Khi em thay dây, hãy đảm bảo dây kim loại tạo tiếp xúc tốt với quả cầu. Để làm điều này, hãy dùng tăm gỗ được cấp để chốt dây kim loại và dây nylon sao cho chúng không bị trượt qua khe móc treo quả cầu. Không chốt chặn cả hai đầu của khe! Để thay các dây, em cần tháo chốt tăm khóa. Đối với thao tác này, dùng kẹp giấy đã được cấp (Hình 7).



Hình 6 (B_1 - Quả cầu 1, B_2 - Quả cầu 2, O_s - Dao động ký)



Hình 7 (1 - tăm gỗ, 2 - kẹp giấy)

D.1 Thời gian va chạm τ giữa các quả cầu được cho bởi phương trình: $\tau = A \cdot x_1^{e_1} \cdot x_2^{e_2} \cdot \dots \cdot x_n^{e_n}$ 0.4pt

ở đây A là một hằng số không thứ nguyên và $x_1, x_2, \dots, x_n$ (n nguyên) là các thông số vật lý của va chạm. Xác định các thông số vật lý này. Các giá trị số mũ $e_1, e_2, \dots, e_n$ cũng sẽ được xác định trong phần D.2 và D.3.

D.2 Bằng thực nghiệm, hãy vẽ đồ thị tuyến tính thích hợp để tìm giá trị của một số số mũ trong biểu thức τ ở phần D.1. 1.2pt

D.3 Dùng cách phân tích thứ nguyên và các giá trị mũ nhận được ở D.2, xác định các giá trị mũ còn lại. 0.4pt

D.4 Hãy tìm giá trị bằng số của A với độ chính xác cao (tối thiểu 4 chữ số có nghĩa - SF). 1.0pt

Phần E: Thông số độ cong Hertz [3.0 điểm]

Dựa vào phương trình xác định tốc độ lớn nhất có được ở nhiệm vụ A.2 và số liệu thí nghiệm trên cơ sở nhiệm vụ D.2, hãy tìm các thông số sau cho dải các góc ban đầu ($\nu = \nu_1 = \nu_2 = 0.3$, $E = E_1 = E_2 = 200$ GPa, $m_1 = 131.48$ g, $m_2 = 67.55$ g, $d_1 = 31.74$ mm, $d_2 = 25.42$ mm):

E.1	Tìm biểu thức và tính giá trị bằng số của lực trung bình F_{av}	0.6pt
E.2	Tìm biểu thức và tính giá trị bằng số của δ là độ cong Hertz	0.6pt
E.3	Tìm biểu thức và giá trị của a là bán kính Hertz	0.6pt
E.4	Tìm biểu thức và tính giá trị bằng số của P_0 là áp suất Hertz	0.6pt
E.5	Tìm biểu thức và tính giá trị bằng số của áp suất trung bình P_{av}	0.6pt

Bài 2: Nhiều xạ từ bề mặt biến dạng nhiệt (biến dạng nhiệt)

Khi ánh sáng tương tác với vật chất, nó sẽ gây ra nhiều hiện tượng khác nhau. Bài thí nghiệm này tập trung vào việc nghiên cứu sự nhiễu xạ ánh sáng từ bề mặt mica (acrylic) bị biến dạng nhỏ bởi ánh sáng.

Acrylic bền gấp 5 lần so với thủy tinh thường và là vật liệu hữu cơ có nhiều ứng dụng. Đơn phân lỏng của methyl metacrylat là nguyên liệu chính cho mica. Trạng thái lỏng có khối lượng riêng thấp hơn so với trạng thái rắn. Các chất tạo màu và chất làm cứng khác nhau được thêm vào đơn phân lỏng. Nhiệt độ định hình của mica nằm trong khoảng từ 160°C đến 190°C . Mica là một vật liệu thân thiện với môi trường vì nó không giải phóng hóa chất độc hại. Do đó, nó được sử dụng phổ biến trong các vật dụng như đồ chơi trẻ em, đồ dùng, khung thiết bị. Hơn nữa, nó có khả năng chống nước.



Dụng cụ thí nghiệm

1. Đầu lade có thể điều chỉnh điện áp

Experiment

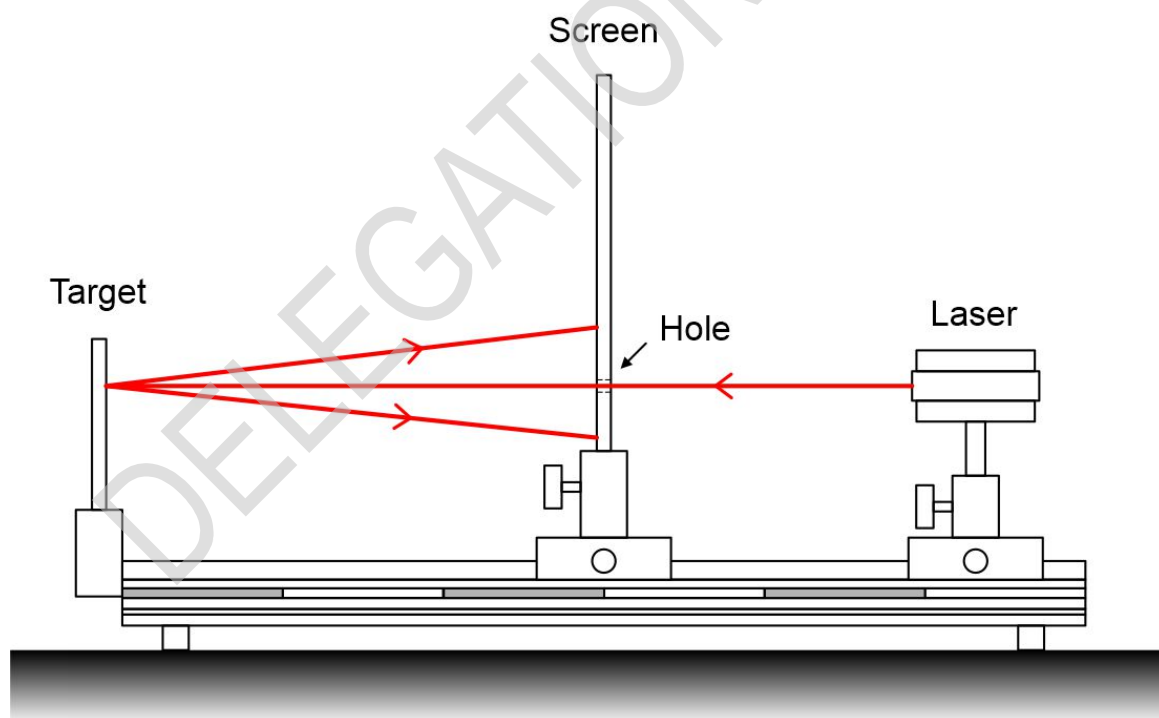


Q2-2

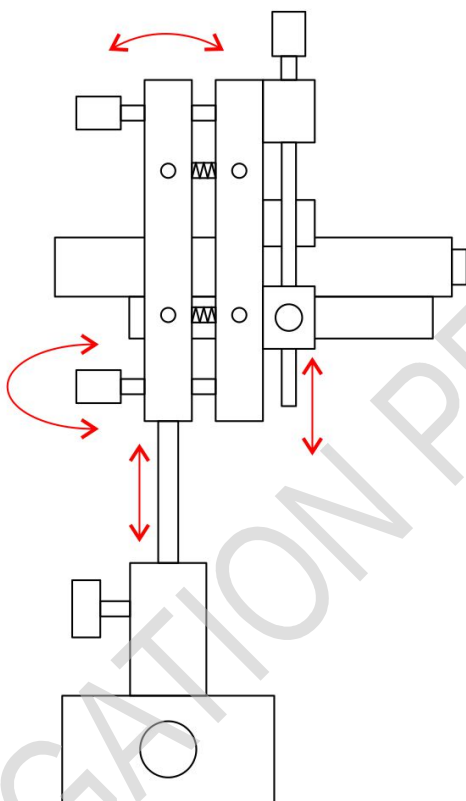
Vietnam Ex Final (Vietnam)

2. Màn chắn có lỗ
3. Hai đồng hồ vạn năng (1 ampe kế và một vôn kế)
4. Các dây nối bộ điều khiển và đèn lade
5. Dây nối các đồng hồ vạn năng
6. Hộp điều khiển (hộp nối điện)
7. Adapter.
8. Bia mica với đế điều chỉnh được.

Sơ đồ bố trí thí nghiệm



Hình 1a. Sơ đồ thí nghiệm nhìn theo phương ngang. Chùm tia lade đi qua một lỗ trên màn chắn và sau đó được phản xạ trực tiếp trên tấm bia, cho ta quan sát thấy hình ảnh nhiễu xạ của ánh sáng phản xạ trên mặt sau của màn chắn.



Hình 1b. Đèn lade và giá đỡ được nhìn từ bên cạnh. Vận các vít để di chuyển hoặc quay đèn lade theo chiều hiển thị bằng mũi tên màu đỏ.

Thí nghiệm bao gồm hai phần. Phần thứ nhất liên quan đến việc nghiên cứu các thông số như đường kính góc, số lượng và độ rộng góc giữa các vân giao thoa phụ thuộc vào công suất cung cấp cho lade.

Phần thứ hai tập trung nghiên cứu các tham số của khu vực bị biến dạng (bao gồm đường kính, chiều cao và hình dạng) tạo ra hệ vân giao thoa, phụ thuộc vào công suất cung cấp cho lade. Đồng thời xác định giá trị các tham số này.

Các dụng cụ thí nghiệm

1. Hãy cuốn sợi dây đã được sử dụng để treo quả cầu, tháo bộ phận cơ khí ra và đặt nó lên một tấm thảm mềm.
2. Lắp đặt đầu lade, màn chắn và giá đỡ tấm mica lên băng quang học như trong hình. Định vị chùm tia lade dọc theo trục của băng quang học ở cùng một độ cao sao cho chùm tia đi qua lỗ hổng của màn chắn. Đảm bảo rằng chùm tia gần như vuông góc với bề mặt tấm mica.
3. Cố định tấm mica bằng nam châm của giá đỡ. Một mặt của tấm mica được phủ bởi một tấm giấy trắng được dùng để điều chỉnh hội tụ chùm tia lade và xác định trước tọa độ vị trí chiếu lade vào.

Lưu ý 1: Trong quá trình chiếu lade, phải bắt đầu từ công suất thấp và điều chỉnh tăng lên từ từ. Đảm

bảo không để ánh sáng lade chiếu trực tiếp vào mắt em.

Lưu ý 2: Đảm bảo rằng bề mặt của tấm mica đã được làm sạch hoàn toàn. Sử dụng khăn lau kính được cấp để làm sạch khu vực chiếu lade vào, cẩn thận không được lau bề mặt mica bằng khăn, vì nó có thể dễ dàng tích điện do ma sát và bắt bụi.

4. Đặt tấm phẳng mica sao cho bề mặt trước có dán nhãn của nó trực diện với chùm tia lade, gỡ nhãn dán và xác định chính xác điểm chiếu lade vào. Hãy lưu ý rằng nếu bề mặt tấm mica bị bẩn hoặc biến dạng do tiếp xúc với ánh sáng có cường độ quá lớn, các vân giao thoa có thể bị biến dạng và có hình bầu dục, đồng thời cũng có thể hình thành các vân khác.

5. Bật công tắc nguồn lade trên hộp điều khiển.

6. Cường độ sáng của chùm lade được thay đổi bằng cách thay đổi điện áp đặt vào. Em hãy kết nối hai đồng hồ vạn năng với mạch lade để đo dòng điện một chiều và điện áp một chiều. Điều chỉnh thang đo đồng hồ từ cao nhất cho đến khi phù hợp. Điện áp có thể tăng lên đến 10 V.

7. Một chùm tia lade được phản xạ trực tiếp trên bề mặt tấm mica phẳng, bóng và không truyền qua. Khi cường độ ánh sáng tăng dần, bề mặt tấm mica sẽ bắt đầu tan chảy ở một giá trị cường độ lade nhất định. Các điểm nóng chảy này có thể được quan sát bằng mắt thường.

8. Hãy xoay các núm vít để điều chỉnh vị trí vết lade trên bề mặt mica.

10. Vết sáng được tạo ra bởi các tia phản xạ từ bề mặt được hình thành và có thể quan sát thấy ở trên màn.

Phần A [0.8 điểm]

Hình ảnh nhiễu xạ sẽ không còn thể hiện tính thuận nghịch và co lại khi công suất cấp cho đèn lade đạt tới giá trị nhất định. Giá trị giới hạn trên tương ứng với giới hạn đàn hồi về nhiệt hay còn gọi là giới hạn chảy (giới hạn đàn hồi). Ta cần đi xác định giá trị này.

A.1	Hãy xác định công suất tại giới hạn đàn hồi (p_{max}).	0.3pt
A.2	Hãy xác định đường kính của vân sáng ngoài cùng. khi công suất cấp cho đèn lade được đặt ở giá trị ứng với giới hạn đàn hồi.	0.5pt

Phần B [3.5 điểm]

B.1	Hãy ghi vào bảng kết quả trong Phiếu Trả lời các giá trị: Đường kính của vân sáng ngoài cùng, số lượng vân được hình thành trong thí nghiệm này và công suất cung cấp cho đèn lade tương ứng.	1.5pt
B.2	Hãy dựng đồ thị mô tả mối quan hệ giữa đường kính của vân sáng giao thoa ngoài cùng trên màn và công suất cung cấp cho đèn lade tương ứng.	1.0pt
B.3	Hãy vẽ đồ thị phụ thuộc của số vân giao thoa trên màn vào công suất cung cấp cho đèn lade.	1.0pt

Phần C [3.7 điểm]

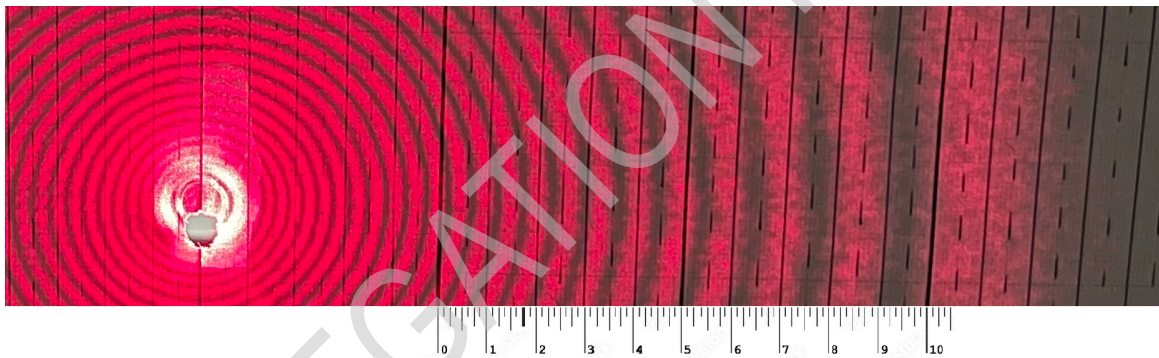
Experiment



Q2-5

Vietnam Ex Final (Vietnam)

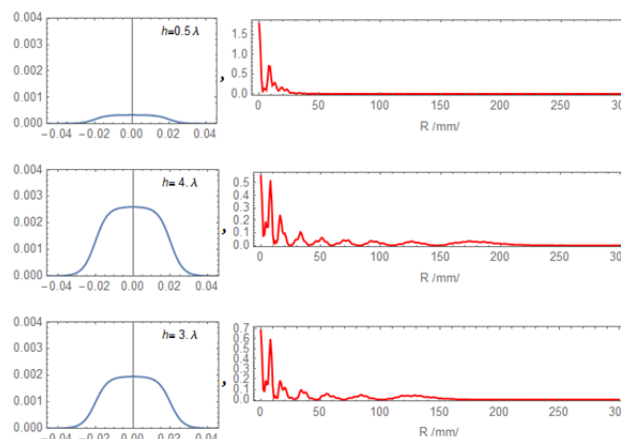
- | | | |
|------------|--|-------|
| C.1 | Đo độ rộng góc (góc giữa tia ứng với vân bậc n và tia ứng với vân bậc $n + 1$) và bán kính góc (góc giữa tia ứng với vân bậc n với trục x) của vân tối ở giá trị công suất cung cấp cho đèn lade không đổi, phụ thuộc vào bậc của vân và ghi kết quả vào Bảng trong Phiếu Trả lời. | 1.2pt |
| C.2 | Hãy vẽ một đồ thị tuyến tính diễn tả mối quan hệ giữa bán kính góc và bậc của vân. | 1.0pt |
| C.3 | Tìm hệ số góc và điểm giao với trục Y của đồ thị được vẽ trong C.2 | 0.5pt |
| C.4 | Hãy xây dựng một đồ thị của độ rộng góc theo bậc của vân. | 1.0pt |



Hình 2. Ảnh của các vân giao thoa trên màn chắn

Phần D [2.0 điểm]

Trong phần này, ta sẽ sử dụng hình ảnh giao thoa để xác định các thông số của vùng biến dạng nhiệt. Khi lade nung nóng bề mặt, gây ra sự biến dạng tại bề mặt mica và tạo ra hình ảnh giao thoa trên màn như ở đồ thị bên dưới:



Experiment



Q2-6

Vietnam Ex Final (Vietnam)

Đồ thị màu xanh thể hiện tiết diện ngang của vùng biến dạng. Đồ thị màu đỏ thể hiện cường độ sáng tính từ tâm của miền giao thoa. Khi cường độ lade tăng dần, độ cao của vùng biến dạng sẽ tăng và số các vân sáng cũng tăng.

Như quan sát thấy trên đồ thị, có một mối liên hệ giữa độ cao của vùng biến dạng và số vân sáng là $m = 2h/\lambda$

D.1	Bằng cách đếm số vân, xác định bậc cao nhất của vân. Xác định sự phụ thuộc của chiều cao của vùng biến dạng nhiệt (tính theo đơn vị số lần bước sóng của lade) theo công suất cung cấp cho đèn lade. Hãy vẽ đồ thị thể hiện mối liên hệ này. Chú ý: Đảm bảo rằng số liệu của em phải bao gồm khoảng từ $200mW$ tới $400mW$.	1.4pt
------------	---	-------

D.2	Hãy xác định chiều cao của vùng biến dạng nhiệt với các công suất cung cấp cho đèn lade như sau. Viết câu trả lời của em dưới dạng đơn vị là số lần bước sóng lade. • $200mW$ • $300mW$ • $400mW$	0.6pt
------------	--	-------