

BÀI THI OLYMPIC VẬT LÝ CÁC NƯỚC

Nguyễn Ngọc Tuấn

Lời nói đầu

Để giải được các bài tập olympic Vật lý không chỉ cần một hiểu biết sâu sắc các định luật Vật lý, mà còn đòi hỏi cần sự tìm tòi, sáng tạo, tính kiên trì, bền bỉ, và nhiều khi là cả cảm giác trực quan.

Tìm kiếm và tuyển chọn, rồi sau đó là phát triển các tài năng trẻ Vật lý không chỉ để làm rạng danh Tổ Quốc trên các sân chơi Quốc Tế (IPhO) và khu vực (APhO) mà còn là một bài toán quan trọng trong công cuộc xây dựng đội ngũ trí thức cho đất nước. Điều đó không có nghĩa là các em đạt Huy chương Quốc Tế & Quốc Gia đều tiếp tục sự nghiệp Vật lý ở bậc học cao hơn. Điều tuyệt vời nhất mà Olympic Vật lý mang lại là một tư duy độc lập sáng tạo, một kỹ năng giải quyết các bài toán phức tạp, hóc búa, một thế giới quan phổ quát. Qua các bài toán Olympic các em sẽ học được cách phân tích bài toán, lập kế hoạch giải quyết và tổng quát hóa. Các kỹ năng và tầm nhìn Vật lý có thể mang ra ứng dụng vào bất kỳ ngành học nào các em chọn sau này.

Tập sách ra đời với mục đích giới thiệu các dạng toán thường gặp trong các kỳ thi Olympic để các em làm quen và luyện tập. Được tuyển chọn từ các đề thi của hơn 20 nước trên thế giới vốn có truyền thống Vật lý như: Trung Quốc, Nhật Bản, Indonesia, Nga, Belarus, Mỹ, Rumani, Kazhakstan, Thụy Sĩ... Đây là các bài thi mới nhất mà các Quốc Gia sử dụng trong các vòng tuyển chọn đội tuyển tham dự Olympic Vật lý Quốc Tế 2014. Nó bao phủ hết tất cả các phần của Vật lý: cơ học, nhiệt học, điện từ học, quang học, vật lý hiện đại, thực hành vật lý.

Quan điểm tuyển chọn của các nước rất khác nhau, do đó cách ra đề cũng như chủ đề bài tập cũng rất khác nhau, có các bài rất quen thuộc nhưng cũng có những bài rất “ngghiêm túc”, cập nhật các thành tựu mới nhất của Vật lý hiện đại. Tuy nhiên để phục vụ cho học sinh Việt Nam ôn thi một cách hiệu quả nhất, tác giả chỉ tuyển chọn những bài sát với dạng bài thi Học sinh giỏi cấp tỉnh và Quốc Gia của Việt Nam, chỉ một số bài tập tương đương với kỳ thi vòng 2 chọn đội tuyển đi dự thi APhO và IPhO. Các bài có đánh dấu sao (+)

là các bài có phần nâng cao được cắt bỏ, mặc dù vậy các em học sinh muốn thử sức có thể tìm đọc phần nội dung mở rộng của cuốn sách được xuất bản trên trang web riêng của tác giả.

Bộ sách được chia làm hai tập theo các chủ đề. Tập 1: Cơ học và Nhiệt học, Tập 2: Điện từ học, Quang học và Vật lý hiện đại. Mỗi bài toán đều có lời giải chi tiết và đôi khi giải bằng nhiều cách, kèm theo các bình luận của tác giả.

Hy vọng bộ sách không chỉ giúp đỡ tích cực cho các em học sinh chuẩn bị cho các kỳ thi Học sinh giỏi Vật lý cấp tỉnh và cấp Quốc Gia, mà còn tài liệu hữu ích cho giáo viên Trung học phổ thông, học sinh chuyên lý và sinh viên Vật lý các trường Đại học Sư Phạm, Tổng hợp, hay đơn giản là các em học sinh, sinh viên yêu thích môn Vật lý. Tác giả rất mong đợi ý kiến nhận xét và trao đổi của các em và các thầy cô để cho các lần xuất bản sau được tốt hơn. Mọi đóng góp cho tác giả xin gửi về tuanphysics@gmail.com.

Hà Nội, tháng 8 năm 2014

PHẦN ĐỀ BÀI

Chương I: Cơ học

1.1. Ống vận chuyển không gian (Trung Quốc)[†]

Một trạm vũ trụ chuyển động trên một quỹ đạo nằm trong mặt phẳng xích đạo của Trái Đất và cách mặt đất một khoảng $L = \alpha R_e$. Trạm vũ trụ này đứng yên so với một trạm tiếp tế nằm trên xích đạo Trái Đất. Ở đây, R_e là bán kính Trái Đất, α là một hằng số, $\alpha > \alpha_m$, và

$$\alpha_m = \left(\frac{GM_e}{\omega_e^2 R_e^3} \right)^{1/3} - 1,$$

M_e và ω_e lần lượt là khối lượng và tốc độ quay của Trái Đất, G là hằng số hấp dẫn. Để vận chuyển hàng hóa từ trạm tiếp liệu lên trạm vũ trụ, từ một loại vật liệu cứng người ta xây dựng một ống đồng chất khối lượng m_p . Đầu dưới của ống gắn liền với mặt đất và ống được giữ sao cho nó luôn vuông góc với mặt đất. Khi vận chuyển, người ta để hàng hóa vào những khay phẳng và cho chúng chuyển động dọc theo ống với vận tốc không quá lớn. Bỏ qua ma sát giữa thành ống và khay. Trong bài toán phải xét đến chuyển động tự quay của Trái Đất, nhưng bỏ qua chuyển động quay của nó quanh Mặt Trời. Khối lượng tổng cộng của hàng hóa và khay là m .

1) Lực quán tính ly tâm và trọng lực Trái đất thực hiện các công bằng bao nhiêu để đưa vật liệu từ mặt đất lên trạm vũ trụ?

2) Công nhỏ nhất mà lực ngoài cần thực hiện là bao nhiêu để đưa số hàng trên từ trạm tiếp liệu lên trạm vũ trụ?

3) Trạm vũ trụ phải ở cách mặt đất một khoảng (ký hiệu là L_0) bằng bao nhiêu để tổng công dịch chuyển vật liệu của trọng lực trái đất và lực quán tính ly tâm là bằng không?

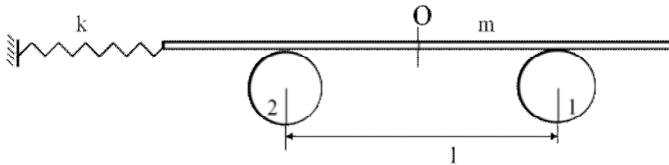
[†] Nội dung mở rộng xem online

1.2. Tấm gỗ dao động (Rumani)

Một tấm ván đồng chất, tiết diện đều có khối lượng m được đặt đối xứng lên hai trống hình trụ nằm ngang. Khoảng cách giữa các trục của trống là l , trống 2 có mặt nhẵn, còn trống 1 có mặt sần với hệ số ma sát trượt μ . Tấm ván được nối với tường bằng một lò xo có chiều dài tự nhiên, nằm ngang và có độ cứng k như hình vẽ. Người ta cho trống mặt sần quay nhanh. Xác định:

1) Vị trí trung tâm của dao động của tấm ván (khoảng cách giữa O và O' , trong đó O' trọng tâm mới của lực hấp dẫn của tấm ván, xét trạng thái chuyển động dao động ổn định). Xét trường hợp trống quay theo chiều kim đồng hồ.

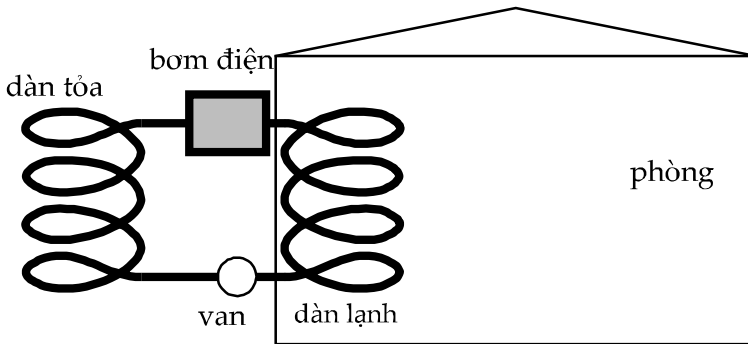
2) Các tần số dao động nhỏ của tấm ván theo phương ngang cho cả hai chiều quay của trống. Cho biết g .



Chương II: Nhiệt học

2.1. Điều hòa nhiệt độ (Mỹ)

Một chiếc điều hòa nhiệt độ có thể coi như một máy nhiệt chạy theo chu trình ngược: một lượng nhiệt Q_L được hấp thụ ở nhiệt độ phòng T_L bởi các thanh có chứa khí làm lạnh bên trong; khối khí này bị nén đoạn nhiệt đến nhiệt độ T_H ; khí tiếp tục được nén đẳng nhiệt ở dàn tản nhiệt nằm bên ngoài tòa nhà và tỏa ra môi trường nhiệt lượng Q_H ; khí giãn đoạn nhiệt đến nhiệt độ phòng T_L ; và chu trình lặp lại từ đầu. Công W cần thiết cho mỗi chu trình được cung cấp bởi một máy bơm điện. Mô hình này mô tả máy lạnh với hiệu suất cao nhất có thể.



Giả sử nhiệt độ ngoài trời là T_H , trong phòng là T_L . Máy điều hòa tiêu thụ công suất điện P . Giả thiết không khí đủ khô để không có ngưng tụ xảy ra bên trong dàn lạnh của máy điều hòa. Nhiệt độ sôi và đóng băng của nước lần lượt là 373 K và 273 K ở điều kiện tiêu chuẩn.

1) Thiết lập công suất tỏa nhiệt từ phòng như một hàm của các nhiệt độ T_H , T_L và công suất tiêu thụ điện P . Thiết lập công thức phải tính đến sự thay đổi entropi trong chu trình Carno thì mới được điểm trọn vẹn.

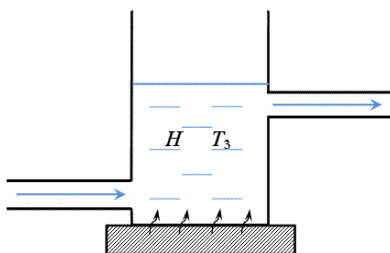
2) Mặc dù phòng được cách nhiệt nhưng nhiệt vẫn truyền vào được bên trong với công suất $R = k\Delta T$, trong đó ΔT là độ chênh lệch nhiệt độ bên trong và bên ngoài phòng, k lsg một hằng số. Hãy tìm nhiệt độ lạnh nhất có thể của phòng theo T_H , k , và P .

3) Một phòng bình thường có $k = 173 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Nếu nhiệt độ ngoài trời là 40°C , công suất điều hòa tối thiểu để làm lạnh đến 25°C là bao nhiêu?

2.2. Đun ấm trà (Belarus)[†]

Khi đặt một cốc trà nóng lên bàn, thì sau một thời gian cốc trà sẽ nguội đi. Đó là vì nhiệt đã truyền cho môi trường xung quanh. Trong bài toán này, ta xem xét việc làm nóng nước, có tính đến sự mất mát kể trên trong hai trường hợp.

Nước được đổ đến độ cao $H = 20 \text{ cm}$ của một bình hình trụ thành mỏng có bán kính đáy $r = 5.0 \text{ cm}$ và nhiệt dung có thể bỏ qua. Bình được đặt lên bếp có công suất nhiệt (phần công suất truyền cho nước) $P = 2.0 \text{ kW}$. Ban đầu nhiệt độ của nước bằng nhiệt độ môi trường $T_1 = 20^\circ\text{C}$. Giả thiết rằng trong quá trình đun khối nước nhanh chóng đạt được nhiệt độ đồng đều. Cho biết các thông số: khối lượng riêng của nước $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, nhiệt dung riêng $c = 4.2 \times 10^3 \text{ J/(kg.K)}$.



Lưu lượng truyền nhiệt được định nghĩa là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian $q = \frac{Q}{St}$, trong hệ SI đơn vị đo của nó là W/m^2 .

Ta giả thiết lưu lượng mất nhiệt là một hằng số $q_0 = 8.5 \text{ kW/m}^2$. Ngoài ra ta cũng giả thiết lưu lượng này đối với mặt nước và thành bình là giống nhau.

- 1) Tìm thời gian cần thiết để làm nóng nước đến $T_2 = 50^\circ\text{C}$.
- 2) Độ cao của cột nước trong bình có giá trị lớn nhất H_{\max} bằng bao nhiêu để có thể làm nóng nước đến nhiệt độ $T_2 = 50^\circ\text{C}$? Giả thiết rằng bình rất cao.

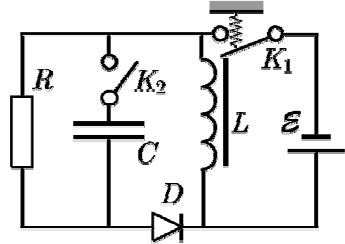
3) Người ta dùng bếp trên để làm nóng dòng nước chảy: trong mỗi giây có một lượng nước chảy đến ở nhiệt độ T_1 và chảy ra ở nhiệt độ T_3 , còn mức nước H không đổi. Xác định lưu lượng nước (tính bằng lít/phút) chảy qua để nhiệt độ nước nóng ở đầu ra là $T_3 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Chương III: Điện từ học

3.1. Bộ kích điện một chiều (Estonia)[†]

Để tăng áp cho ắc quy lên đến hiệu điện thế cao, người ta sử dụng mạch sau đây.

Một khóa điện từ K_1 nối ắc quy có suất điện động \mathcal{E} với một cuộn dây có độ tự cảm L : nó sẽ đóng lại khi không có dòng đi qua cuộn dây (lò xo kéo lên), nhưng khi dòng điện qua cuộn dây đạt giá trị I_0 , từ trường của cuộn dây sẽ kéo cho khóa mở. Vì thanh khóa có khối lượng, nó cần thời gian τ_K để đóng lại ngay cả khi dòng giảm tới không.



Diode D lý tưởng, dòng qua nó bằng không khi hiệu điện thế ngược ($V_D < 0$), và cả khi hiệu điện thế thuận nhưng nhỏ hơn một giá trị ngưỡng V_0 ($0 < V_D < V_0$). Khi dòng qua diode lớn hơn không, hiệu điện thế trên diode là không đổi $V_D = V_0$.

Các kết quả cần biểu diễn qua các đại lượng L , \mathcal{E} , I_0 , V_0 , R và điện dung C (xem hình)

- 1) Đầu tiên, khóa K_2 mở. Ban đầu không có dòng đi qua cuộn dây. Cần bao nhiêu thời gian τ_L để khóa K_1 mở?
- 2) Giả thiết (từ đây về sau) $L/R \ll \tau_K \ll \tau_L$, hãy vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của dòng qua cuộn dây như một hàm của thời gian t (trong khoảng $0 \leq t < 3\tau_L$).
- 3) Hiệu điện thế cực đại V_{\max} trên điện trở R bằng bao nhiêu?

3.2. Cuộn dây solenoid (Balan)

Một cuộn dây không lõi được làm từ N vòng dây không điện trở cuốn trên một mặt hình trụ có bán kính r , chiều dài l , và $\frac{l}{N} \ll r \ll l$.

Hai đầu cuộn dây được nối với nhau và tại thời điểm ban đầu cường độ dòng điện trong mạch là I . Hãy xem xét những tình huống độc lập dưới đây. Các câu 1 và 2, dây mềm có thể uốn được.

1) Một cách đồng đều bóp cho ống nhỏ lại sao cho tiết diện ống giảm đi hai lần.

a) Hỏi cường độ dòng điện trong ống bây giờ bằng bao nhiêu?

b) Tìm công cần thiết để bóp ống.

2. Ống Solenoid được kéo dài đều đến chiều dài $2l$ (vẫn thỏa mãn điều $\frac{2l}{N} \ll r$).

a) Hỏi cường độ dòng điện trong ống bây giờ bằng bao nhiêu?

b) Tìm công cần thiết để kéo ống.

3. Giả sử có thể coi ống là một lò xo có độ cứng k . Xác định chiều dài tự nhiên l_0 của lò xo, biết rằng khi dòng điện chạy qua có cường độ I và không có lực cơ học bên ngoài nào tác động lên ống thì ống có chiều dài l . Giả sử rằng mật độ các vòng dây luôn đồng đều khi ống bị nén hay dãn.

Chương IV: Quang học

4.1. Vệ tinh do thám (Thụy Sĩ)

Một vệ tinh do thám bay phía trên thành phố Aarau ở độ cao 300 km. Đó là một kính viễn vọng không gian lớn với một chiếc gương hướng xuống và có đường kính 2.4 m. Để đơn giản, giả sử rằng các vệ tinh nhìn thấy Trái Đất có màu vàng, đặc biệt là màu vàng-xanh với bước sóng 570 nm.

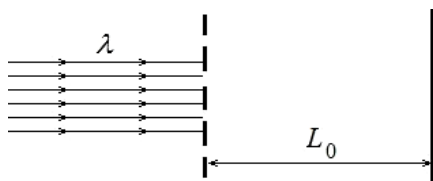
1) Giả sử trong trường học NKSA đang có cuộc thi, vệ tinh có giúp học sinh quay bài được không, Giải thích ngắn gọn.

2) Gương phải có đường kính bằng bao nhiêu để làm được điều này? Có khả thi không?

3) Bây giờ thay vệ tinh bằng một máy bay không người lái trang bị hệ thống quang và một gương có đường kính 24 cm. Máy bay phải bay ở độ cao nào để có thể giúp học sinh quay bài?

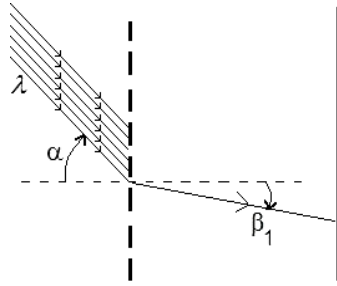
4.2. Nhiễu xạ qua cách tử (Bulgari)

Trong cả hai nửa của bài toán sử dụng ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 600$ nm.



Hình 4.2

1) Một chùm sáng chiếu vuông góc tới một cách tử nhiễu xạ có hằng số cách tử d (Hình 4.2). Hình ảnh nhiễu xạ được quan sát trên một màn đặt cách nhiễu xạ một khoảng L_0 . Hãy mô tả định tính độ rộng của khe ảnh hưởng đến vị trí cực đại như thế nào. Cần dịch chuyển màn đến khoảng cách mới L nào để vị trí cực đại bậc $m + 1$ ở khoảng cách mới trùng với vị trí cực đại bậc m ở khoảng cách cũ L_0 ? Giá trị nhỏ nhất của hằng số cách tử phải bằng bao nhiêu để có thể quan sát được vân cực đại bậc 5?



Hình 4.3

2) Chùm sáng chiếu dưới góc nhỏ α đến một cách tử nhiều xạ có hằng số cách tử d (Hình 4.3). Dưới các góc $\beta_1 \approx 14^\circ$ và $\beta_2 \approx 74^\circ$ ở phía dưới đường pháp tuyến quan sát được hai cực đại giao thoa liên tiếp. Xác định hằng số cách tử d . Quan sát được bao nhiêu cực đại và dưới những góc β bằng bao nhiêu? Xác định bậc của các cực đại đó và giá trị của góc α .

Chương V: Vật lý hiện đại

Vật lý chất rắn, Thuyết tương đối, Vật lý hạt nhân, Vật lý lượng tử

5.1. Mảnh kính vỡ (Canada)

Khi một vật bị vỡ, rất nhiều các liên kết phân tử bị đứt gãy và năng lượng liên kết được giải phóng dưới dạng nhiệt và sóng âm.

Trong bài toán này, ta sẽ xem xét tỷ lệ phần trăm năng lượng nhận được được sử dụng trực tiếp vào việc bẻ gãy các liên kết phân tử. Một mô hình đơn giản là thủy tinh có cấu trúc lập phương đơn giản. Điều này có nghĩa là mỗi phân tử SiO_2 chiếm một hình lập phương có cạnh a , và mỗi hình lập phương phân tử có một liên kết với mỗi phân tử xung quanh. Năng lượng cần thiết để bẻ gãy liên kết gọi là năng lượng liên kết, ký hiệu E_b .

Ngoài ra, trong bài toán này ta chỉ quan tâm đến cỡ độ lớn của các đại lượng. Hình dưới đây cho thấy một mảnh thủy tinh kích thước $25 \text{ mm} \times 75 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ rơi từ độ cao 150 cm và vỡ thành các mảnh nhỏ.



1) Sử dụng hình ảnh ở trên, đánh giá tổng chiều dài rãnh gãy và tổng số liên kết bị gãy.

2) Sử dụng ẩn nhiệt hóa hơi của thủy tinh, hãy đánh giá năng lượng liên kết của thủy tinh

3) Có bao nhiêu phần trăm năng lượng va chạm được dùng để bẻ gãy các liên kết?

Áp dụng số:

- Khối lượng riêng của thủy tinh: $\rho_g = 2 \text{ g/cm}$
- Khối lượng mol của SiO_2 : $M_{\text{SiO}_2} = 60 \text{ g/mol}$
- Ẩn nhiệt hóa hơi của thủy tinh: $L_g = 10 \text{ kJ/g}$

5.2. Máy lượn sóng (Czech)[†]

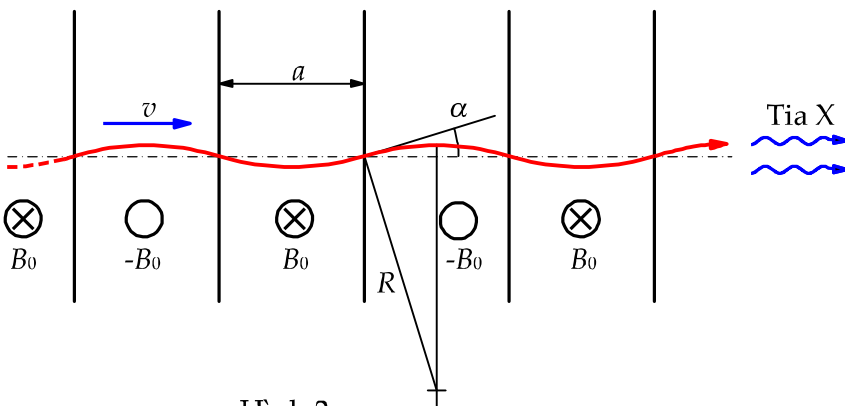
Tại trung tâm nghiên cứu SLAC (Stanford Linear Accelerator Center - Máy Gia tốc Tuyến Tính Stanford) để tạo ra các laser tia X người ta sử dụng một máy có tên gọi là máy lượn sóng, mà trong đó chùm electron đã được gia tốc trước đó tới năng lượng $E = 14 \text{ GeV}$ bởi một máy gia tốc tuyến tính, được cho qua khe có chiều dài 112 m tạo bởi các nam châm xếp ngược chiều xen kẽ nhau. Mỗi nam châm có chiều rộng $a = 1.5 \text{ cm}$ và cảm ứng từ bên trong nam châm có giá trị $B_0 = 1.25 \text{ T}$. Khi đi qua máy lượn sóng, quỹ đạo của các electron hơi bị uốn cong (Hình. 5.2). Sau khi ra khỏi máy lượn sóng các electron được điều hướng tới một bộ hấp thụ. Khi electron di chuyển với tốc độ cao theo một quỹ đạo cong, nó phát ra theo hướng chuyển động bức xạ tia X có bước sóng

$$\lambda = \frac{a}{\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right)$$

trong đó $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ là thừa số Lorentz, còn $K = \frac{eB_0 a}{\pi m_e c}$ là thông số

của máy lượn sóng.

Electron chuyển động trong máy lượn sóng như một đám mây nhỏ cỡ micro, nên tia X do chúng phát ra có độ kết hợp cao.



Hình 2.

1) So sánh tổng năng lượng E của electron trước khi đi vào máy lượn sóng, với năng lượng nghỉ E_0 của nó. Vận tốc v của electron sai khác bao nhiêu % so với vận tốc c của ánh sáng trong chân không?

2) Tìm biểu thức bán kính R của cung tròn mà electron chuyển động theo trong mỗi phần của máy lượn sóng? Xác định góc α mà electron đi vào máy lượn sóng và độ dài lớn nhất d của electron khỏi trục của máy.

3) Xác định bước sóng λ của tia X được tạo ra và so sánh năng lượng E_{ph} của photon với tổng năng lượng của electron ở lối vào của máy lượn sóng.

Khối lượng electron: $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, vận tốc ánh sáng trong chân không $c = 3 \times 10^8$ m/s, điện tích nguyên tố $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C, hằng số Planck $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J.s.

Có thể dùng công thức gần đúng (nếu cần) $\sqrt{1 \pm x} \approx 1 \pm \frac{x}{2}$ khi $x \ll 1$.

