

Bài tập và lời giải của các Trường Đại học  
nổi tiếng Hoa Kỳ

Major American Universities Ph.D. Qualifying Questions and Solutions

**Bài Tập và Lời Giải**  
**Vật lý Nguyên Tử, Hạt Nhân và**  
**Các Hạt Cơ Bản**

**Problems and Solutions**  
**on Atomic, Nuclear and**  
**Particle Physics**

Biên soạn:  
Trường Đại học Khoa học  
và Công nghệ Trung Hoa

Chủ biên:  
Yung-Kuo Lim



**NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC**

**BÀI TẬP & LỜI GIẢI**  
**VẬT LÝ NGUYÊN TỬ,**  
**HẠT NHÂN VÀ**  
**CÁC HẠT CƠ BẢN**

*Người dịch:*

**PGS.TS. Dương Ngọc Huyền**  
**PGS.TS. Nguyễn Trường Luyện**

**NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC**

## **Problems and Solutions on Atomic, Nuclear and Particle Physics**

Compiled by  
The Physics Coaching Class  
University of Science and Technology of China

Edited by  
Lim Yung-kuo  
National University of Singapore

© World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.  
New Jersey.London.Singapore.Hong Kong

First published 2000  
Reprinted 2003

*All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher. Vietnamese translation arranged with World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore.*

Cuốn sách được xuất bản theo hợp đồng chuyển nhượng bản quyền giữa Nhà xuất bản Giáo dục và Nhà xuất bản World Scientific. Mọi hình thức sao chép một phần hay toàn bộ cuốn sách dưới dạng in ấn hoặc bản điện tử mà không có sự cho phép bằng văn bản của Công ty Cổ phần Sách dịch và Từ điển – Nhà xuất bản Giáo dục đều là vi phạm pháp luật.

**Bản quyền tiếng Việt © Công ty Cổ phần Sách dịch và Từ điển Giáo dục**

## LỜI NHÀ XUẤT BẢN

Bộ sách **Bài tập và lời giải vật lý** gồm bảy cuốn:

1. *Quang học*
2. *Vật lý chất rắn, Thuyết tương đối & Các vấn đề liên quan*
3. *Điện từ học*
4. *Cơ học*
5. *Vật lý Nguyên tử, Hạt nhân và Các hạt cơ bản*
6. *Cơ học-Lượng tử*
7. *Nhiệt động lực học & Vật lý thống kê*

Đây là tuyển tập gồm 2550 bài tập được lựa chọn kỹ lưỡng từ 3100 đề thi vào đại học và thi tuyển nghiên cứu sinh chuyên ngành vật lý của 7 trường đại học nổi tiếng ở Mỹ (Đại học California ở Berkeley, Đại học Columbia, Đại học Chicago, Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), Đại học Bang New York ở Buffalo, Đại học Princeton, Đại học Wisconsin). Trong số này còn có các đề thi trong chương trình CUSPEA và các đề thi do nhà vật lý đoạt giải Nobel người Mỹ gốc Trung Quốc C. C Ting (CCT) soạn để tuyển chọn sinh viên Trung Quốc đi du học ở Hoa Kỳ. Những đề thi này được xuất bản kèm theo lời giải của hơn 70 nhà vật lý có uy tín của Trung Quốc và 20 nhà vật lý nổi tiếng kiểm tra, hiệu đính. Tất cả các cuốn sách trên đã được tái bản, riêng cuốn Điện từ học đã được tái bản 7 lần.

Điểm đáng lưu ý về bộ sách này là nó bao quát được mọi vấn đề của vật lý học, từ cổ điển đến hiện đại. Bên cạnh những bài tập đơn giản nhằm khắc sâu những khái niệm cơ bản của Vật lý học, không cần những công cụ toán học phức tạp cũng giải được, bộ sách còn có những bài tập khó và hay, đòi hỏi phải có kiến thức và tư duy vật lý sâu sắc với các phương pháp và kỹ thuật toán học phức tạp hơn mới giải được. Có thể nói đây là một tài liệu bổ sung vô giá cho sách giáo khoa và giáo trình đại học ngành vật lý, phục vụ một phạm vi đối tượng rất rộng, từ các giáo viên vật lý phổ thông, giảng viên các trường đại học cho đến học sinh các lớp chuyên lý, sinh viên khoa vật lý và sinh viên các lớp tài năng của các trường đại học khoa học tự nhiên, đặc biệt là cho những ai muốn du học ở Mỹ.

Nhà xuất bản Giáo dục trân trọng giới thiệu bộ sách tới độc giả.

Hà Nội, ngày 20 tháng 11 năm 2008

**NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC**

## LỜI NÓI ĐẦU

*Làm bài tập là một việc rất yếu và quan trọng trong quá trình học Vật lý nhằm củng cố lý thuyết đã học và trau dồi kỹ năng thực hành. Trong cuốn Vật lý Nguyên tử, Hạt nhân và Các hạt cơ bản này có 483 bài tập được chia ra thành bốn phần: Vật lý Nguyên tử và Phân tử (142 bài), Vật lý Hạt nhân (120 bài), Vật lý Hạt cơ bản (90 bài), Phương pháp thực nghiệm và các chủ đề hỗn hợp (131 bài). Hầu hết các bài chọn đưa vào cuốn sách này đều phù hợp với chương trình vật lý bậc đại học và sau đại học của các chuyên ngành Vật lý nói trên. Ngoài ra, một số kết quả nghiên cứu gần đây cũng được đưa vào cuốn sách nhằm giúp người học không chỉ nắm bắt lý thuyết cơ bản mà còn có thể vận dụng kiến thức cơ bản một cách sáng tạo vào việc học tập và nghiên cứu.*

# MỤC LỤC

Lời Nhà xuất bản	iii
Lời nói đầu	v
Mục lục	vii

## **Phần I: Vật lý nguyên tử và Vật lý phân tử**

1. Vật lý nguyên tử (1001-1122)	3
2. Vật lý phân tử (1123-1142)	169

## **Phần II: Vật lý hạt nhân**

1. Các tính chất hạt nhân cơ bản (2001-2023)	202
2. Năng lượng liên kết hạt nhân, phản ứng phân hạch và phản ứng nhiệt hạch (2024-2047)	233
3. Đơteron và các lực hạt nhân (2048-2058)	264
4. Các mẫu hạt nhân (2059-2075)	283
5. Phân rã hạt nhân (2076-2107)	316
6. Phản ứng hạt nhân (2108-2120)	374

## **Phần III: Vật lý hạt cơ bản**

1. Các loại tương tác và các dạng đối xứng (3001-3037)	394
2. Các tương tác điện từ và yếu, các lý thuyết đại thống nhất (3038-3071)	450
3. Cấu trúc Hadron và mô hình Quac (3072-3090)	514

## **Phần IV: Phương pháp thực nghiệm và các chủ đề đa dạng**

1. Động học của các hạt năng lượng cao (4001-4061)	552
2. Tương tác giữa bức xạ và vật chất (4062-4085)	630
3. Kỹ thuật dò hạt và phương pháp thực nghiệm (4086-4105)	648
4. Ước lượng sai số và thống kê (4106-4118)	662
5. Chùm hạt và máy gia tốc (4119-4131)	674

# PHẦN I

## VẬT LÝ NGUYÊN TỬ VÀ VẬT LÝ PHÂN TỬ

**1. VẬT LÝ NGUYÊN TỬ (1001–1122)****1001**

Giả sử rằng có một thông báo về một phương pháp tuyệt vời có khả năng đặt tất cả nội dung của một thư viện vào một bưu ảnh rất phẳng. Có thể đọc được nó nhờ một hiển vi điện tử không? Hãy giải thích.

(Columbia)

**Lời giải:**

Giả sử có  $10^6$  quyển sách trong thư viện, mỗi quyển 500 trang và mỗi trang lớn bằng 2 bưu ảnh (cho mỗi bưu ảnh là có thể đọc được). Cho một bưu ảnh để đọc được, độ phóng đại phẳng sẽ là  $2 \times 500 \times 10^6 \approx 10^9$ , tương ứng với độ phóng đại dài là  $10^{4.5}$ . Khi độ phóng đại dài của một kính hiển vi điện tử là 800.000, độ phóng đại phẳng của nó lớn cỡ  $10^{11}$ , là đủ để đọc được bưu ảnh.

**1002**

Tại  $10^{10}$  K, mỗi  $\text{cm}^3$  bức xạ vật đen tuyệt đối nặng (1 tấn, 1 g,  $10^{-6}$  g,  $10^{-16}$  g)?

(Columbia)

**Lời giải:**

Câu trả lời gần nhất là 1 tấn trong  $1 \text{ cm}^3$ .

Mật độ năng lượng bức xạ được cho bởi  $u = 4\sigma T^4/c$ , trong đó  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$  là hằng số Stefan-Boltzmann. Từ hệ thức năng lượng - khối lượng Einstein, chúng ta thu được khối lượng của bức xạ vật đen tuyệt đối trong một đơn vị thể tích là  $u = 4\sigma T^4/c^3 = 4 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 10^{40}/(3 \times 10^8)^3 \approx 10^8 \text{ kg/m}^3 = 0,1 \text{ tấn/cm}^3$ .

**1003**

Bán kính Bohr của nguyên tử hydro khi được so sánh với bước sóng Compton của electron có độ lớn xấp xỉ là

- (a) 100 lần lớn hơn.
- (b) 1000 lần lớn hơn.



(c) tương tự nhau.

(CCT)

Lời giải:

Bán kính Bohr của nguyên tử hydro và bước sóng Compton của electron được cho tương ứng là  $a = \frac{\hbar^2}{me^2}$  và  $\lambda_c = \frac{h}{mc}$ . Từ đó  $\frac{a}{\lambda_c} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{e^2}{\hbar c}\right)^{-1} = \frac{137}{2\pi} = 22$ , trong đó  $e^2/\hbar c$  là hằng số cấu trúc tinh tế. Do đó, câu trả lời là (a).

### 1004

Hãy đánh giá điện trường cần thiết để giải phóng  $1e$  ra khỏi nguyên tử so với điện trường cần thiết cho  $e$  chuyển động quanh hạt nhân.

(Columbia)

Lời giải:

Khảo sát một nguyên tử tương tự nguyên tử hydro có điện tích hạt nhân  $Ze$ . Năng lượng ion hoá (hoặc năng lượng cần thiết để tách  $e$ ) là  $13,6Z^2$  eV. Điện tử chuyển động trên quỹ đạo có khoảng cách trung bình từ hạt nhân là  $a = a_0/Z$ , trong đó  $a_0 = 0,53 \times 10^{-8}$  cm là bán kính Bohr. Điện tử di chuyển quanh hạt nhân trong điện trường  $E$  trong một nửa vòng có thể có năng lượng  $eEa$ . Do đó, để giải phóng electron cần phải thoả mãn

$$eEa \gtrsim 13,6 Z^2 \text{ eV.}$$

hay là

$$E \gtrsim \frac{13,6 Z^3}{0,53 \times 10^{-8}} \approx 2 \times 10^9 Z^3 \text{ V/cm.}$$

### 1005

Khi ta đi ra khỏi tâm nguyên tử, mật độ  $e$  sẽ

- (a) giảm theo hàm Gauss.
- (b) giảm theo hàm mũ.
- (c) dao động với biên độ giảm chậm.

(CCT)

**Lời giải:**

Câu trả lời là (c).

**1006**

Một chuyển dời  $e$  trong các ion của  $^{12}\text{C}$  dẫn đến phát xạ photon vào khoảng  $\lambda = 500 \text{ nm}$  ( $h\nu = 2,5 \text{ eV}$ ). Các ion ở trạng thái cân bằng nhiệt tại nhiệt độ ion  $kT = 20 \text{ eV}$ , mật độ  $n = 10^{24} \text{ m}^{-3}$ , và một từ trường không đồng nhất lên tới  $B = 1 \text{ Tesla}$ .

(a) Hãy thảo luận vấn đề cơ chế mở rộng có thể tạo nên sự dịch chuyển có bề rộng được quan sát  $\Delta\lambda$  lớn hơn độ rộng đã tìm được cho những giá trị rất nhỏ của  $T$ ,  $n$  và  $B$ .

(b) Cho một trong các cơ chế này, hãy tính độ rộng vạch được mở rộng  $\Delta\lambda$ , sử dụng cỡ độ lớn để đánh giá các tham số cần thiết.

(Wisconsin)

**Lời giải:**

(a) Vạch phổ thường có độ rộng riêng được tạo ra do độ bất định ở các mức năng lượng nguyên tử, nó xuất hiện do khoảng hữu hạn của thời gian có liên quan tới quá trình bức xạ, theo nguyên lý bất định Heisenberg. Sự mở rộng đã được quan sát cũng có thể do những giới hạn dụng cụ như quang sai thấu kính, nhiễu xạ... Nói thêm, các nguyên nhân chính của sự mở rộng là:

*Hiệu ứng Doppler:* Các nguyên tử và phân tử chuyển động nhiệt không đổi tại  $T > 0 \text{ K}$ . Tần số đã quan sát của một vạch phổ có thể thay đổi một ít nếu như chuyển động của các nguyên tử phát xạ có một thành phần dọc theo hướng ngắm, do hiệu ứng Doppler. Vì các nguyên tử hoặc phân tử có phân bố vận tốc, một vạch được phát xạ nhờ các nguyên tử sẽ bao gồm một khoảng tần số được phân bố xung quanh tần số gốc, đóng góp vào độ rộng vạch quan sát.

*Các va chạm:* Một hệ nguyên tử có thể bị nhiễu loạn bởi những ảnh hưởng bên ngoài như các điện trường và từ trường do các nguồn ngoài hoặc các nguyên tử lân cận. Nhưng những ảnh hưởng đó thông thường tạo ra sự dịch chuyển các mức năng lượng hơn là mở rộng chúng. Tuy nhiên, sự mở rộng cũng có thể bắt nguồn từ những va chạm nguyên tử, tạo nên những thay đổi pha trong bức xạ và do đó tạo ra sự mở rộng mức năng lượng.