

# BASIC NUCLEAR ENGINEERING

ARTHUR R. FOSTER and ROBERT L. WRIGHT, JR.



\* S K N 0 0 0 7 3 4 \*

# Basic Nuclear Engineering



ARTHUR R. FOSTER

Northeastern University

*Chairman, Department of  
Mechanical Engineering*

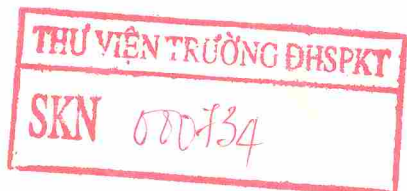
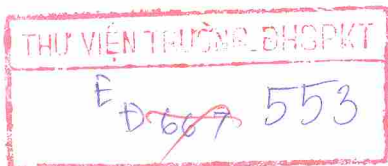
Allyn and Bacon  
Boston

and

ROBERT L. WRIGHT, Jr

Postal Service  
Management Institute

*Mechanical Engineering  
Specialist*



# Contents

<b>1 Introduction</b>	Energy sources	1
	Nuclear fuels	3
	Fission	5
	Reactor use and classification	7
	Reactor design problems	15
	History	17
	The nuclear industry	22
<b>2 Atomic Structure</b>	The atom	24
	Binding energies	27
	Relativistic velocities	30
	Energy levels in an atom	30
	X-rays and <i>Bremsstrahlung</i>	34
	Atomic bonding	35
	Nuclear structure and binding forces	36

	Natural radioactivity	39
	Radioactive decay processes	41
	Complex decay schemes	46
	Decay rates and half-lives	46
	Compound decay	49
	The compound nucleus	55
	Fission	61
	Conversion of fertile nuclei	64
	Fusion	65
	High energy reactions	73
	Heavy charged particles	83
	Light charged particles	87
	Gamma- and X-rays	90
	Neutrons	92
	Electrostatic charge	
	accumulating instrument	93
	Simplest ionization type detector	94
	Ion chambers	96
	Proportional counters	97
	Geiger-Müller counters	98
	Scintillation counters	100
	Neutron detectors	104
	Fission chambers	105
	Fast neutron detectors	106
	Solid state detectors	106
	Statistics	110
	Units and measurements	115
	Exposure and biological damage	120
	External effects, internal effects, and treatment	123
	Exposure protection guides	125
	Shielding	126
<b>3 The Decay of Radioactive Nuclei</b>		
<b>4 Nuclear Reactions</b>		
<b>5 Radiation Detection</b>		
<b>6 Health Physics and Biological Radiation Protection</b>		

## 7 Radioisotope Applications

Categories of radioisotopes	133
Industrial applications	134
Power generators	138
Thermoelectric converters	140
Thermionic converters	144
Isotope fuels	145
Carbon <sup>14</sup> dating	148
Food processing	149
Agriculture	151
Medicine	151

## 8 Neutron Interactions

Cross sections	155
Neutron interactions	156
Attenuation of a neutron beam	157
Mean free path	158
Neutron cross sections	160
Thermal neutron velocity (energy) distribution	162
Corrected absorption cross sections	164
Neutron flux	164
Neutron activation	165
Neutron activation analysis	168
Flux determination by foil irradiation	168
Slowing down of neutrons	170
Scatter in the <i>COM</i> system	174
Logarithmic energy decrement	175
Macroscopic slowing down power	177
Moderating ratio	177
Average value of the cosine of the scattering angle	178
Transport mean free path	180

**9 The Steady State  
Reactor Core**

Infinite multiplication factor	183
Four-factor equation	184
Calculation of resonance escape probability	187
Heterogeneous cores	190
Neutron current density	192
Development of diffusion equation	194
Infinite slab reactor	198
Flux distribution in a rectangular parallelepiped	201
Spherical reactor core	204
Power developed by a spherical core	206
Cylindrical core	207
Reflected reactor core	208
Spherical core with finite reflector	208
Two-group theory	215
Multigroup calculations	221

**10 Transient Reactor  
Behavior and Control**

Neutron lifetime	225
Reactivity	227
Delayed neutrons	228
Average neutron lifetime	230
Effect of delayed neutrons	230
Diffusion equation for a transient reactor	231
Units of reactivity	234
Limiting cases of $\Delta k_{\text{eff}}$	236
Natural reactivity changes	237
Temperature effects on reactivity	238
Fission product accumulation	242
Fission product poisoning after shutdown	245
Fuel depletion	247
Resonance absorption by $U^{238}$	248
Thermal absorption by $U^{238}$	248
Reactivity change in a uranium reactor	248

<p><b>11 Radiation Damage and Reactor Materials Problems</b></p>	<p>Radiation damage to crystalline solids 252          Amorphous materials 256          Temperature and mobility effects 256          Increase in transition temperature for BCC metals 258          Graphite 260          Nuclear fuels 263</p>		
	<p><b>12 Nuclear Heat Transfer</b></p>	<p>Heat transfer from fuel elements 294          Temperature distribution along a fuel rod in a cooling channel 301          Burnout in water-cooled reactors 303          Boiling 303          Use of DNB-I data in design 308          Nuclear superheat 311</p>	
		<p><b>13 Nuclear Reactors</b></p>	<p>Effect of size on plant cost 319          Fuel burnup 321          Nuclear power costs 322          Pressurized water reactors 324          Boiling water reactors 329          Comparison of dual and single cycle BWR's 335          Gas-cooled reactors 336          Heavy water moderated organic cooled reactors 339          MSBR: A thermal breeder reactor 345          Fast reactors 348          Dual purpose power-desalination reactors 352</p>

## Contents

<b>Appendixes</b>	
	A. Nuclear Data for Various Elements and Isotopes 361
	B. Various Convenient Constants 365
	C. Useful Conversion Factors 365
	D. Table of Radioisotopes 366
<b>Answers to Selected Problems</b>	368
<b>Index</b>	373



**B**ạn đang có trong tay thông tin cơ bản của một trong số những tài liệu có hàm lượng chất xám cao, với những thông tin vô cùng hữu ích cho quá trình học tập và nghiên cứu của bản thân bạn !

Bạn đã và đang trải qua những ưu tư, trăn trở của bản thân mình trước biển kiến thức mênh mông vô hạn và đang tìm hướng đi cho riêng mình bằng việc biến kiến thức thành tài sản tri thức của riêng bạn !

*Hãy để Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM chia sẻ những khó khăn và trăn trở đó cùng bạn!*

*Hãy đến với Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM để cùng nhau, chúng ta xây dựng vương quốc khoa học và trí tuệ của chính mình !*

*Cùng với bạn, Thư viện ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM mong ước góp phần duy trì và phát triển văn hóa đọc !*



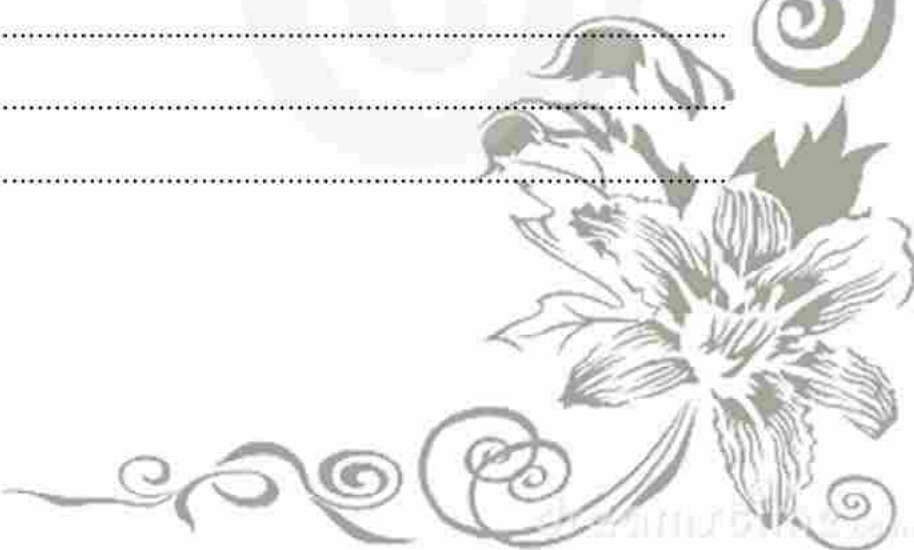
**Hãy đến với chúng tôi - Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM** để cảm nhận, trải nghiệm và biến ước mơ khoa học của bạn thành hiện thực !

Hân hạnh được đón tiếp và phục vụ bạn tại  
**Số 1 – 3, Võ Văn Ngân, Phường Linh Chiểu, Quận Thủ Đức, Tp. HCM**  
ĐT: (08) 3896 9920 – Email: [thuvienspkt@hcmute.edu.vn](mailto:thuvienspkt@hcmute.edu.vn)  
<http://www.thuvienspkt.edu.vn> – <http://thuvien.hcmute.edu.vn>

***Thông tin tài trợ!***



A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for handwritten text. There are 18 lines in total, providing a structured space for the donor information.



**B**ạn đang có trong tay thông tin cơ bản của một trong số những tài liệu có hàm lượng chất xám cao, với những thông tin vô cùng hữu ích cho quá trình học tập và nghiên cứu của bản thân bạn !

Bạn đã và đang trải qua những ưu tư, trăn trở của bản thân mình trước biển kiến thức mênh mông vô hạn và đang tìm hướng đi cho riêng mình bằng việc biến kiến thức thành tài sản tri thức của riêng bạn !

*Hãy để Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM chia sẻ những khó khăn và trăn trở đó cùng bạn!*

*Hãy đến với Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM để cùng nhau, chúng ta xây dựng vương quốc khoa học và trí tuệ của chính mình !*

*Cùng với bạn, Thư viện ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM mong ước góp phần duy trì và phát triển văn hóa đọc !*



**Hãy đến với chúng tôi - Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM** để cảm nhận, trải nghiệm và biến ước mơ khoa học của bạn thành hiện thực !

Hân hạnh được đón tiếp và phục vụ bạn tại  
**Số 1 – 3, Võ Văn Ngân, Phường Linh Chiểu, Quận Thủ Đức, Tp. HCM**  
ĐT: (08) 3896 9920 – Email: [thuvienspkt@hcmute.edu.vn](mailto:thuvienspkt@hcmute.edu.vn)  
<http://www.thuvienspkt.edu.vn> – <http://thuvien.hcmute.edu.vn>

***Thông tin tài trợ!***



A series of horizontal dotted lines arranged in a column, providing a space for writing. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page, framed by decorative scrollwork on the left and right sides.

