

\* S K N 0 0 0 4 8 2 \*

# SODIUM GRAPHITE REACTORS

by

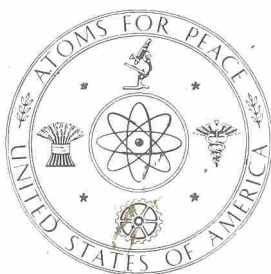
CHAUNCEY STARR

and

ROBERT W. DICKINSON

*Atoms International*

*A Division of North American Aviation, Inc.*



PREPARED UNDER CONTRACT WITH THE  
UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION



THƯ VIỆN TRƯỜNG ĐHSPT

SKN 000482

ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC.

READING, MASSACHUSETTS, U.S.A.

THƯ VIỆN TRƯỜNG ĐHSPT

# 213 D-198

# CONTENTS

CHAPTER 1. SODIUM GRAPHITE REACTORS AND THEIR IMPORTANCE TO THE NUCLEAR INDUSTRY . . . . .	1
1-1. BACKGROUND . . . . .	1
1-2. TECHNOLOGICAL ASPECTS OF SODIUM GRAPHITE REACTORS . . . . .	6
1-2.1 Advantages . . . . .	6
1-2.2 Disadvantages . . . . .	8
1-3. POWER CONVERSION PROBLEMS . . . . .	9
1-3.1 Steam generators and superheaters . . . . .	9
1-3.2 "Once-through" steam generators . . . . .	10
1-3.3 Tube-sheet natural circulation units . . . . .	10
1-3.4 Header-type natural circulation steam generators . . . . .	11
CHAPTER 2. SODIUM REACTOR EXPERIMENT . . . . .	13
2-1. GENERAL DESCRIPTION . . . . .	13
2-2. THE REACTOR . . . . .	13
2-2.1 Coolant . . . . .	16
2-2.2 Moderator and reflector assemblies . . . . .	16
2-2.3 Fuel elements . . . . .	17
2-2.4 Control elements . . . . .	17
2-2.5 Safety elements . . . . .	18
2-2.6 Experimental facilities . . . . .	18
2-2.7 Reactor vessel . . . . .	18
2-3. SHIELDING . . . . .	19
2-4. THE COOLING SYSTEM . . . . .	20
2-5. FUEL HANDLING . . . . .	22
2-6. INERT GAS SYSTEM . . . . .	23
2-7. WASTE DISPOSAL SYSTEM . . . . .	23
2-8. EMERGENCY ELECTRICAL SYSTEM . . . . .	24
2-9. THE REACTOR BUILDING . . . . .	24
2-10. STEAM-ELECTRIC FACILITIES . . . . .	24
CHAPTER 3. NUCLEAR AND DESIGN CHARACTERISTICS . . . . .	29
3-1. REACTOR PHYSICS . . . . .	29
3-1.1 Theory . . . . .	29
3-1.2 Exponential experiments . . . . .	33

3-1.3	SRE critical mass . . . . .	39
3-1.4	Control rods . . . . .	45
3-1.5	Temperature coefficient . . . . .	52
3-2.	REACTOR STATICS . . . . .	53
3-2.1	Shielding . . . . .	53
3-2.2	Coolant flow and heat transfer in SRE core . . . . .	59
3-3.	TRANSIENT AND SAFETY CHARACTERISTICS . . . . .	67
3-3.1	Features affecting transient and safety performance . . . . .	67
3-3.2	Safety characteristics . . . . .	72
CHAPTER 4.	MATERIALS REQUIREMENTS . . . . .	80
4-1.	SODIUM TECHNOLOGY . . . . .	80
4-2.	GRAPHITE TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT . . . . .	84
4-3.	ZIRCONIUM TECHNOLOGY . . . . .	88
CHAPTER 5.	FUEL ELEMENT DEVELOPMENT . . . . .	95
5-1.	BASIC CONCEPT . . . . .	95
5-2.	SRE FUEL PROGRAM . . . . .	100
5-2.1	Thermocouple monitoring . . . . .	105
5-2.2	Radiation schedule . . . . .	106
5-2.3	Hot-cell examination . . . . .	107
5-3.	MTR IRRADIATIONS OF SRE FUEL . . . . .	109
5-3.1	Procedure . . . . .	109
5-3.2	Results . . . . .	111
5-4.	FUEL ELEMENT ASSEMBLY . . . . .	113
5-4.1	Fuel element configuration . . . . .	114
5-4.2	Component description . . . . .	115
5-4.3	Rod loading equipment . . . . .	116
5-4.4	Rod fabrication procedure . . . . .	118
5-4.5	Testing . . . . .	120
CHAPTER 6.	SRE COMPONENTS AND SYSTEMS . . . . .	125
6-1.	REACTOR . . . . .	125
6-1.1	Reactor core . . . . .	125
6-1.2	Moderator and reflector elements . . . . .	139
6-1.3	Control elements . . . . .	143
6-1.4	Safety elements . . . . .	149
6-1.5	Summary . . . . .	152



6-2.	SODIUM SYSTEMS . . . . .	152
6-2.1	Heat-transfer system . . . . .	153
6-2.2	Sodium piping . . . . .	154
6-2.3	Sodium valves . . . . .	155
6-2.4	Eddy-current brakes . . . . .	156
6-2.5	Sodium pumps . . . . .	156
6-2.6	Miscellaneous components . . . . .	157
6-2.7	Heat exchangers . . . . .	160
6-2.8	Process description . . . . .	164
6-2.9	Sodium service system . . . . .	165
6-3.	FUEL HANDLING SYSTEM . . . . .	170
6-3.1	Introduction . . . . .	170
6-3.2	Cask design . . . . .	170
6-3.3	Cask operation . . . . .	174
6-3.4	Fuel storage cells . . . . .	175
6-3.5	Fuel storage cell evacuation cask . . . . .	177
6-3.6	Fuel-cleaning facilities . . . . .	177
6-3.7	SRE hot cells . . . . .	178
6-4.	AUXILIARY SYSTEMS . . . . .	181
6-4.1	Inert gas system . . . . .	181
6-4.2	Helium system . . . . .	181
6-4.3	Nitrogen system . . . . .	182
6-4.4	Organic cooling system . . . . .	185
6-4.5	Liquid-waste system . . . . .	188
6-4.6	Gaseous-waste system . . . . .	189
6-5.	INSTRUMENTATION . . . . .	191
6-5.1	Nuclear and reactor control instruments . . . . .	191
6-5.2	Reactor safety system . . . . .	194
6-5.3	Reactor control system . . . . .	201
6-5.4	Magnetic brake control system . . . . .	202
6-5.5	Relation of instruments to reactor startup and operation . . . . .	202
6-5.6	Remote radiation monitoring system . . . . .	202
6-5.7	Process control instruments . . . . .	205
6-5.8	SRE electrical distribution system . . . . .	209
6-5.9	Control centers . . . . .	216
CHAPTER 7.	INSTALLATION AND OPERATION OF SRE . . . . .	219
7-1.	SITE . . . . .	219
7-1.1	Buildings . . . . .	219
7-1.2	Utilities . . . . .	221

7-2.	STEAM ELECTRIC FACILITIES . . . . .	221
7-2.1	Steam generator (Fig. 7-1) . . . . .	222
7-2.2	Water conditioning. . . . .	226
7-2.3	Interconnections between reactor and steam plant . . . . .	229
7-3.	REACTOR OPERATION . . . . .	230
7-3.1	Operating philosophy . . . . .	230
7-3.2	Operating parameters . . . . .	231
7-3.3	Operating procedures . . . . .	233
7-3.4	Engineering evaluation . . . . .	236
7-4.	PREOPERATIONAL TESTING . . . . .	241
7-4.1	Inert gas systems . . . . .	241
7-4.2	Tetralin systems . . . . .	241
7-4.3	Sodium systems . . . . .	241
7-4.4	Fuel-handling cask . . . . .	242
7-4.5	Reactor . . . . .	242
7-4.6	Sodium instrumentation . . . . .	242
7-4.7	Nuclear instrumentation . . . . .	244
7-4.8	Reactor control and safety system . . . . .	245
7-4.9	Electrical distribution system. . . . .	246
7-4.10	Main primary and secondary pump control . . . . .	246
CHAPTER 8. LARGE-SCALE SODIUM GRAPHITE CONCEPTS . . . . .		256
8-1.	THE CONSUMERS PUBLIC POWER DISTRICT OF NEBRASKA SODIUM GRAPHITE REACTOR . . . . .	256
8-1.1	Comparison of the HNPf SGR, and the SRE . . . . .	257
8-1.2	General description . . . . .	258
8-1.3	Reactor . . . . .	261
8-1.4	Plant control . . . . .	265
8-1.5	Component development program . . . . .	266
8-2.	FUTURE APPLICATIONS OF SGR SYSTEMS . . . . .	267
8-2.1	100-Mw electrical plant . . . . .	267
8-2.2	200-Mw electrical plant . . . . .	267
8-2.3	Calandria concept . . . . .	272
8-2.4	Thimble concept . . . . .	274
8-3.	ECONOMIC ASPECTS OF LARGE-SCALE CONCEPTS . . . . .	276
INDEX . . . . .		279

**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 !*



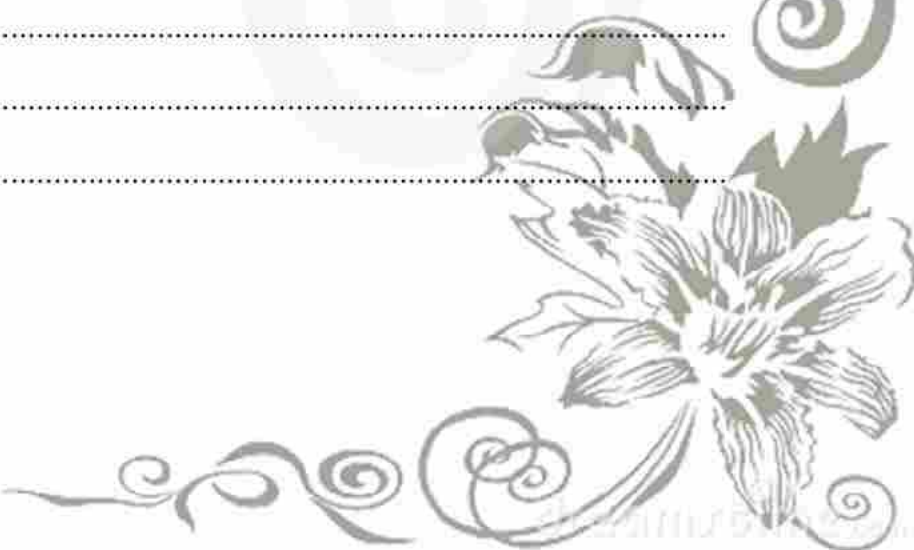
**Hãy đến với chúng tôi - Thư viện trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM** để cảm nhận, trải nghiệm và biến ước mơ khoa học của bạn thành hiện thực !

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 writing 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 spanning the width of the page, intended for handwritten text. There are 18 lines in total, providing a structured area for the donor information.

