

Ljubiša Rašković

Osnovi Kriogene Tehnike



Akademski misao

Ljubiša Rašković

OSNOVI KRIOGENE TEHNIKE

Academica
Dr. Ljubiša Rašković
Institut za fiziku, Beograd-Zemun

OSNOVI KRIOGENE TEHNIKE

Grfičko oslikavanje: Ljubiša Rašković

Štampano
Planeta print
Beograd

1997
300 primeraka

ISBN 86-7466-181-0

Akadska misao
Beograd, 2005.

Ljubiša Rašković

OSNOVI KRIOGENE TEHNIKE

Recenzent

Dr Bratislav Marinković
Institut za fiziku, Beograd-Zemun

Izdavači

AKADEMSKA MISAO, Beograd
Kryooprema, Pančevo
KryoGas, Beograd

Grafičko oblikovanje korica
Zorana Rašković

Štampa

Planeta print
Beograd

Tiraž

300 primeraka

ISBN 86-7466-161-0

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige - u celini ili u delovima - nije dozvoljeno bez prethodne izričite saglasnosti i pismenog odobrenja izdavača.

SADRŽAJ

PREDGOVOR.....	1
1. UVOD	3
1.1. Definicije u kriogenoj tehnici	3
1.2. Istorijski razvoj kriogenog inženjerstva	3
1.3. Područja primene	5
2. OSOBINE KRIOGENIH FLUIDA	11
2.1. Azot	14
2.2. Kiseonik.....	14
2.3. Argon.....	14
2.4. Neon	15
2.5. Kripton	15
2.6. Ksenon.....	15
2.7. Ozon	15
2.8. Fluor	15
2.9. Vodonik.....	16
2.10. Helijum.....	18
2.11. Metan	23
3. OSOBINE MATERIJALA NA NISKIM TEMPERATURAMA	25
3.1. Mehaničke osobine materijala	25
3.2. Termičke karakteristike materijala.....	30
3.3. Električne i magnetne karakteristike materijala - superprovodljivost.....	39
4. SISTEMI ZA UTEČNJAVANJE KRIOGENIH GASOVA.....	43
4.1. Parametri efikasnosti sistema.....	44
4.2. Idealan termodinamički sistem	44
4.3. Džul-tomsonov efekt.....	46
4.4. Adijabatsko širenje.....	50
4.5. Sistemi za utečnjavanje gasova izuzev neona, vodonika i helijuma	51
4.6. Sistemi za utečnjavanje metana	59
4.7. Sistemi za utečnjavanje neona i vodonika	60
4.8. Sistemi za utečnjavanje helijuma	62
5. SEPARACIJA I PREČIŠĆAVANJE GASOVA	65
5.1. Separacija gasova.....	65
5.2. Metode prečišćavanja gasova	77
6. KRIOGENI RASHLADNI SISTEMI	101
6.1. Idealni rashladni sistemi	101
6.2. Rashladni sistemi za temperature iznad 2K.....	106
6.3. Rashladni sistemi za temperature ispod 2K.....	121

7. VAKUUMSKA TEHNIKA	131
7.1. Gasovi u vakuumskim sistemima	131
7.2. Vakuumske pumpe.....	140
7.3. Elementi vakuumskih sistema	164
7.4. Čišćenje vakuumskih komponenti	170
7.5. Ispitivanje zaptivenosti vakuumskih komponenti i sistema	171
8. MERENJE OSNOVNIH FIZIČKIH VELIČINA U PODRUČJU NISKIH TEMPERATURA	179
8.1. Merenje temperature	179
8.2. Merenje niskih pritisaka	186
8.3. Merenje protoka.....	194
8.4. Merenje nivoa tečnosti.....	196
9. SKLADIŠTENJE I TRANSPORT KRIOGENIH FLUIDA	201
9.1. Sudovi za skladištenje kriogenih fluida	202
9.2. Kriogene izolacije	209
9.3. Cevovodi za transport kriogenih fluida	227
9.4. Kriogeni ventili	229
9.5. Dvofazno strujanje u cevnim sistemima za transport kriogenih fluida.....	229
10. PRILOZI	239
10.1. Osobine zasićenih kriogenih tečnosti	240
10.2. Osobine kriogenih gasova na $p=1$ atm (1,033 bar)	243
10.3. T-s dijagrami kriogenih gasova	247
10.4. Pritisci para kriogenih gasova.....	254
10.5. Koeficijent emisivnosti za pojedine materijale	260
10.6. Grafički simboli u vakuumskoj tehnici	261
10.7. Provodljivost elemenata vakuumskih sistema.....	262
BIBLIOGRAFIJA.....	263

PREDGOVOR

Ova knjiga je nastala kao plod dugogodišnjeg rada autora na razvoju, proizvodnji i primeni kriogene tehnike u industriji, fizici, medicini, veterinarstvu, biologiji i drugim područjima primene niskih temperatura. Namena knjige je da da pregled glavnih područja kriogene tehnike i osnove za inženjerske proračune i projektovanje kriogene opreme i sistema. Smatram da je knjiga takve sadržine bila potrebna stručnjacima različitog obrazovanja koji u svom radu dolaze u dodir sa kriogenom tehnikom kao i studentima pojedinih fakulteta zainteresovanih da prošire svoja znanja iz te oblasti.

Poglavlje separacije gasova je dopunjeno i separacijom gasova adsorpcijom molekularnim sitima kao postupkom čija primena je u velikom usponu. Knjizi je dodato poglavlje vakuumske tehnike jer se oblasti kriogene i vakuumske tehnike prepliću. Naime, vakuum je neophodan za efikasne kriogene izolacije, postizanje temperatura bliskih apsolutnoj nuli i sl. dok u vakuumskoj tehnici su kriogene pumpe za postizanje ultra visokih vakuuma praktično nezamenjive.

Autor se zahvaljuje svima koji su pomogli izdavanje ove knjige, a posebno Institutu za fiziku u Beogradu, prof. dr. Veri Dondur, Američkoj ambasadi u Beogradu i preduzećima Kryooprema, Pančevo i KryoGas, Beograd.

Autor

1.2. ISTORIJSKI RAZVOJ KRIOGENOG INŽENJERSTVA

Istorijski razvoj kriogenog inženjerstva je direktno povezan sa razvojem fizike i tehnologije niskih temperatura. Hronologije razvoja kriogenog inženjerstva su povezane sa najvažnijim otkrićima u fizici, tehnologiji i u razvoju procesa i metoda koji su našli mesto skoro u svim područjima čovekovih aktivnosti.

BIBLIOGRAFIJA

1. Arharov A.M.; Marfenina I.V.; Mikulin E.I. "Teorija i proračun kriogenih sistema", Mašinstroenie, Moskva, 1981,
2. Baron R. "Cryogenic Systems", McGraw-Hill Inc. New York, 1966,
3. Bejan A.; Smith J.L. "Thermodynamic Optimization of Mechanical Supports for Cryogenic Apparatus", časopis "Cryogenics", pp158, 1974,
4. Beljakov V.P. "Kriogena tehnika i tehnologija", Energoizdat, Moskva, 1982,
5. Black I.A.; Glaser P.E. i drugi, "Basic Investigations of Multilayer Insulation Systems", Arthur D. Little Inc. Cambridge, MA, 1964,
6. Chambers A.; Fitch R.K.; Halliday B.S. "Basic Vacuum Technology", Adam Hilger, Bristol, 1989,
7. Collings E.W.; Cappelletti R.L. "Micromagnetism in Austenitic Stainless Steels", časopis "Cryogenics", 1985,
8. Dyer A. "Separation of Closely Related Systems by Molecular Sieve Zeolites", časopis "Separation Science and Technology", 13(6), pp 501-516, 1978,
9. Eysa Y.M.; Okasha O. "Thermodynamic Optimization of Thermal Radiation Shields for Cryogenic Apparatus" časopis "Cryogenics", pp 305, 1978,
10. Glaser P.E. "The Development of Thermal Insulations and Techniques for Use at Very Low Temperatures", Arthur D. Little Inc. Cambridge, MA, 1967, NASA SP 5027 "Survey of Thermal Insulation Systems", 1967
11. Glaser P.E. "Principles and Uses of Low Temperature Evacuated Powder Insulations", Arthur D. Little Inc. Cambridge, MA, časopis "Topical Studies" 12948, pp 1749, 1964,
12. Grezin A.K.; Zinovjev V.S. "Mikrokriogena tehnika", Mašinstroenie, Moskva, 1977,
13. Haefler R.A. "Kryo-vacuumtehnik", Springer-Verlag, Heilderberg 1981,
14. Isačenko V.; Osipova V.; Sukomel A. "Heat Transfer", MIR, Moskva, 1977,
15. Javorski B.M.; Detlaf A.A. "A Modern Handbook of Physics", MIR, Moskva, 1981,
16. Kirilin V.; Sičev V.; Šaindlin A. "Engineering Thermodynamics", MIR, Moskva, 1976,
17. Kropschot R.H.; Timmerhaus K.D. i drugi, "Applied Cryogenic Engineering", John Wiley & Sons Inc. New York, 1962,
18. Kropschot R.H.; Burgass R.W. "Perlite for Cryogenic Insulation" časopis "Advances in Cryogenic Engineering", Vol.8, G7, 1963,

19. Kurepa M.; Čobić B. "Fizika i tehnika vakuuma", Naučna knjiga, Beograd, 1988,
20. Kutzner K.; Schmidt F.; Wietzke T. "Radiative and Conductive Heat Transmission Through Superinsulations - Eperimental Results for Aluminium Coated Plastic Foils", časopis "Cryogenics", pp 396, 1973,
21. Matsch L.C. "Advances in Multilayer Insulations" časopis "Advances in Cryogenic Engineering",
22. McAdams W. \pm Heat Transmission², McGraw-Hill Book Co. Inc. New York, 1954,
23. Mendelssohn K. "Traganje za apsolutnom nulom-smisao fizike niskih temperatura", Srpska književna zadruga, Beograd, 1982,
24. Milinčić D. "Prostiranje toplote", Mašinski fakultet, Beograd, 1969,
25. NASA CR-54191, "Final Report - Basic Investigation of Multilayer Insulation Systems", Arthur D. Little Inc. Cambridge, MA, 1964,
26. Naščokin V. "Engineering Thermodynamics and Heat Transfer²", MIR, Moskva, 1979,
27. Pitts D.; Leighton S. "Theory and Problems of Heat transfer", McGraw-Hill Book Co. New York, 1977,
28. Rašković D. "Otpornost materijala", Naučna knjiga, Beograd, 1967,
29. Rašković Lj. "Kriogene izolacije", magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1984,
30. Ray M.S. "The Separation and Purification of Gases Using Solid Adsorbents", časopis "Separation Science and Technology", 18(2), pp 95-120, 1983,
31. Ražnjević K. "Termodinamičke tablice", Školska knjiga, Zagreb, 1975,
32. Richter E. "Industrial Processes for Gas Separation by Pressure Swing Adsorption", časopis "Wissenschaft und Technik", Bd.40, Heft 10, pp 432, 1987,
33. Ruthven D.M. "Sorption of Oxygen, Nitrogen, Carbon Monoxide, Methane and Binary Mixtures of These Gases in 5A Molecular Sieve", AIChE Journal, Vol.22, No.4, pp 753, 1976,
34. Sircar S. "Air Fractionation by Adsorption", časopis "Separation Science and Technology", 23(14&15), pp 2379-2396, 1988,
35. Sircar S.; Kratz W.C. "Oxygen Production by Pressure Swing Adsorption", časopis "Separation Science and Technology", 24(5&6), pp 429-440, 1989,
36. Svičev V.V. "Complex Thermodynamic Systems", MIR, Moskva, 1981,
37. Timoshenko S.P.; Woinowsky-Krieger S. "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill Kogakusha Ltd. Tokyo, Second Edition,
38. Tong L. "Boiling Heat Transfer and Two Phase Flow", John Wiley and Sons Inc. New York, 1965,
39. Šel J. "Nauka o toploti", Mašinski fakultet, Beograd, 1969,
40. Uskokin I.P. "Postrojenja, mašine i aparati kriogene tehnike", LPPŠ, Moskva, 1982,
41. Voronjec K. "Dinamika gasova", Mašinski fakultet, Beograd, 1969,
42. Walker G. "Cryocoolers", Plenum Publishing Co. New York, 1983.

19. Kurepa M.; Čobić B. "Fizika i tehnika vakuuma", Naučna knjiga, Beograd, 1978.
20. Kutzner K.; Schmidt F.; Wietzke T. "Radiative and Conductive Heat Transmission Through Superinsulations - Experimental Results for Aluminium Coated Plastic Foils", časopis "Cryogenics", pp 398, 1973.
21. Matsch L.C. "Advances in Multilayer Insulations" časopis "Advances in Cryogenic Engineering", Izdavač
22. McAdams W. "Heat Transmission", McGraw-Hill Book Co. Inc. New York, 1954.
23. Mendelssohn K. "Traganje za superinsulacijom odmah misao fizike niskih temperatura", Srpska književna zbornica, Beograd, 1973.
24. Mirković D. "Prostiranje topline", Masinska fakultet, Beograd, 1969.
25. NASA CR-54191, "Final Evaluation of Multilayer Insulation Systems", Arthur D. Little Inc. Cambridge, MA, 1964.
26. Našokin V. "Engineering of Heat Transfer", MIR, Moskva, 1979.
27. Pitts D.; Leighton S. "Theory and Problems of Heat transfer", McGraw-Hill Book Co. New York, 1977.
28. Rašković D. "Otpornost materijala", Naučna knjiga, Beograd, 1967.
29. Rašković Lj. "Kriogene izolacije", magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.
30. Ray M.S. "The Separation and Purification of Gases Using Solid Adsorbents", časopis "Separation Science and Technology", 18(2), pp 93-120, 1983.
31. Ražnjević K. "Termodinamičke tablice", Školska knjiga, Zagreb, 1975.
32. Richter E. "Industrial Processes for Gas Separation by Pressure Swing Adsorption", časopis "Wissenschaft und Technik", Bd.40, Heft 10, pp 432, 1987.
33. Ruchven D.M. "Sorption of Oxygen, Nitrogen, Carbon Monoxide, Methane and Binary Mixtures of These Gases in 5A Molecular Sieve", AIChE Journal, Vol.22, No.4, pp 753, 1975.
34. Sircar S. "Adsorption Separation Science and Technology", 2nd Edition, Wiley, New York, 1999.
35. Sircar S.; Kraft A. "Gas Purification by Pressure Swing Adsorption", časopis "Separation Science and Technology", 24(5&6), pp 429-441, 1989.
36. Svičev V.V. "Compendium of Cryogenic Engineering", MIR, Moskva, 1981.
37. Timoshenko S.P. "Strength of Materials Part I: Properties and Shells", McGraw-Hill Kogakusha, New York, 1955.
38. Tong L. "Boiling Heat Transfer and Two Phase Flow", John Wiley and Sons Inc. New York, 1965.
39. Sel J. "Nauka o toploti", Masinski fakultet, Beograd, 1969.
40. Uskokin L.P. "Posredstvo kriogene tehnike", LPPS, Moskva, 1982.
41. Voronjce K. "Dizajniranje hladnja", Beograd, 1969.
42. Walker G. "Cryogenic Engineering", McGraw-Hill, New York, 1983.

AKADEMSKA MISAO

Bul. kralja Aleksandra 73, Beograd
tel./fax: (+381 11) 3218 354

e-mail: am@eff.bg.ac.yu

www.akademska-misao.co.yu

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

CIP

621.59
536.483

РАШКОВИЋ, Љубиша.

Osnovi kriogene tehnike / Ljubiša Rašković. -
Beograd : Akademska misao, 2004 (Beograd :
Planeta print). - 264 str. : graf. prikazi, tabele ;
24 cm

Tiraž 300. - Bibliografija : str. 263-264.

ISBN 86-7466-161-0

a) Раскладна техника б) Раскладни флуиди
ц) Физика niskih температура
COBISS.SR-ID 117075212



ISBN 86-7466-161-0



www.akademska-misao.co.yu

Ljubiša Rašković

Osnovi Kriogene Tehnike

