

Bohátka Sándor

VÁKUUMFIZIKA ÉS -TECHNIKA



ELFT

Bohátka Sándor: VÁKUUMFIZIKA ÉS -TECHNIKA

Tankönyv

Információk: bohátka@atomki.hu, megrendelés az ELFT titkárságán
[Budapest, Fő u. 68. II. em., e-mail: mail.elft@mtesz.hu]

RÉSZLET A BEVEZETŐBŐL

A tankönyv rendeltetése:

Alapismereteket adni a vákuumfizika és -technika tárgykörében. Szándékaink szerint azoknak szól, akik most ismerkednek a tárgykörrel, illetve önképzéssel megtanultak sok mindent, de ismereteik hiányosak, és rendszerezésre szorulnak.

A tankönyv célja:

Az olvasó megismerje az alapvető fogalmakat, a vákuum előállításának és mérésének módjait, ezek fizikai hátterét, a vákuumtechnikában használatos legfontosabb szerkezeti elemeket, anyagokat, a vákuumrendszerek felépítését és működtetését, továbbá a tervezéshez tudjon számolni néhány alapvető fontosságú mennyiséget. Tehát ha kell, immár össze tudjon állítani, és képes legyen üzemeltetni egy vákuumrendszert, amelyhez persze a biztonságot majd a gyakorlat adja meg.

A tankönyv tematikája:

Az oktatás tematikájáról elég határozott a saját véleményünk, de hozzá való átfogó jellegű magyar nyelvű könyv nem állt rendelkezésre. Ezért az idegen nyelvű alpművekből és a részletekkel foglalkozó közleményekből merítve, valamint saját anyagunk alapján állítottuk össze ezt a tankönyvet. E munka magját lényegében egy több mint másfél évtizede tartó egyetemi féléves kurzus anyaga szolgáltatja, amelyet kiegészített a IUVSTA Technical Training Course keretében 2006-ban Debrecenben tartott Gyakorlati Vákuumtechnikai Tanfolyam témaköre.

A tankönyv módszere:

Középfokú ismeretekre épít, mert az oktatás során ez volt a közös nevező, de levezetés nélkül bevon az egyetemi kísérleti fizika tantárgyból is eredményeket. Igyekszik rámutatni a jelenségek mögötti fizikai okokra, de az analitikus, elméleti levezetéseket inkább feláldozza a szemléletesebb magyarázatért. Mint ahogy azt a címben is érzékeltetjük, egyszerre szeretnénk a fizikát is és a technikát is hangsúlyossá tenni, mert a gyakorlatban ezek elválaszthatatlanul vannak jelen. Az okozati viszonyok tisztánlátása érdekében a gépies rutint szolgáló nomogramokkal nem foglalkozunk. A gyakorlatiasság érdekében törekszünk létező, hozzáférhető eszközök ábráit, paramétereit bemutatni példaként.

Éppen a kutatásra szoruló témák és az alkalmazások sokrétűsége, gazdagsága az oka, hogy minden igényt nem elégíthetünk ki sem képességünk, sem a keret adta lehetőségünk szűkösége okán. Aki egy-egy terület problémáiban jobban el akar mélyedni, annak a csatlakozó tudományterületek és a legújabb kutatási eredmények tanulmányozását ajánljuk.

TARTALOMJEGYZÉK

	Oldal
BEVEZETÉS	7
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	13
1. A GÁZ MENNYISÉGÉT, ÁLLAPOTÁT MEGHATÁROZÓ FIZIKAI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEIK	15
2. A KINETIKUS GÁZELMÉLET ALAPJAI	16
2.1. AZ IDEÁLIS GÁZ MODELLJE	16
2.2. SEBESSÉGELOSZLÁS	17
2.3. ENERGIAELOSZLÁS	21
2.4. KÖZEPES SZABAD ÚTHOSSZ, ÜTKÖZÉSEK	22
2.4.1. Közepes szabad úthossz	22
2.4.1.1. Sutherland – korrekció	24
2.4.2. Gázok ütközése	25
2.4.3. Közepes szabad úthossz kísérleti meghatározása	27
2.5. RÉSZECESKEÁRAM, TÉRFOGATI ÁRAM	28
2.6. GÁZOK NYOMÁSA	31
2.7. GÁZSZÁLLÍTÁS KÉT EDÉNY KÖZÖTTI KIS NYÍLÁSON ÁT	32
2.7.1. Részecskeszállítás (részecskefluxus), Δq_N	32
2.7.2. A szállított gáztömeg: Δq_m	33
2.7.3. A szállított gáztérfogat (térfogati gázáram): Δq_V	33
2.8. GÁZTÖRVÉNYEK	34
3. TRANSZPORT JELENSÉGEK	36
3.1. DIFFÚZIÓ	36
3.2. BELSŐ SÚRLÓDÁS (VISZKOZITÁS) GÁZOKBAN	37
3.3. HŐVEZETÉS GÁZOKBAN	42
4. GÁZOK ÁRAMLÁSA	45
4.1. ÁRAMLÁSI TARTOMÁNYOK	45
4.1.1. Viszkózus (kontinuum) áramlás	47
4.1.2. Molekuláris áramlás	48
4.1.3. Átmeneti áramlás	49
4.2. GÁZÁRAM, SZÍVÓSEBESSÉG. SZIVATTYÚZÓ KÉPESSÉG (GÁZSZÁLLÍTÁS)	49
4.2.1. Szívósebesség mérése	50
4.3. CSŐVEZETÉKEK ÁRAMLÁSI ELLENÁLLÁSA, VEZETŐKÉPESSÉGE	52
4.4. A SZIVATTYÚ EREDŐ ÉS EFFEKTÍV SZÍVÓSEBESSÉGE	52
4.4.1. A szivattyúhoz csatolt vezeték hatása a szivattyú eredő szívósebességére	52
4.4.2. Gázbeömlés hatása a szivattyú effektív szívósebességére	54
4.5. ÁRAMLÁS KIS, VÉKONY FALVASTAGSÁGÚ NYÍLÁSON ÁT	55
4.5.1. Viszkózus áramlás kis, vékony falvastagságú nyíláson át	55
4.5.1.1. Kis nyílás gázmennyiség-árama, lamináris áramlás	55
4.5.1.2. Kis nyílás vezetőképessége levegőre – lamináris áramlás	57
4.5.1.3. Kis nyílás szívósebessége levegőre – lamináris áramlás	58
4.5.2. Molekuláris áramlás kis, vékony falú nyíláson át	58

4.6. MOLEKULÁRIS ÁRAMLÁS NAGY VÉKONY NYÍLÁSON ÁT	59
4.7. ÁRAMLÁS CSÖVEKBEN	60
4.7.1. Lamináris áramlás csövekben	61
4.7.2. Átmenet a molekuláris és lamináris tartomány között csövekben (Knudsen-áramlás)	63
4.7.3. Molekuláris áramlás csövekben	64
4.7.3.1. Rövid cső vezetőképessége molekuláris áramlásban	65
4.7.3.2. Molekuláris áramlás csövön keresztül – általános leírás	66
4.7.3.3. Transzmissziós módszer a vezetőképesség meghatározására	68
4.8. RECIPIENS LESZÍVÁSI IDEJE	70
5. GÁZOK ÉS KONDENZÁLT ANYAGOK KÖLCSÖNHATÁSA	71
5.1. GÁZFORRÁSOK A VÁKUUMRENDSZERBEN	71
5.2. GŐZÖK, PÁROLGÁS, KONDENZÁCIÓ	72
5.2.1. Kondenzáció	73
5.2.2. Párolgás	74
5.2.3. Párolgási áram sűrűsége	75
5.3. SZORPCIÓ ÉS DESZORPCIÓ	79
5.3.1. Szorpciós jelenségek, alapfogalmak	79
5.3.2. Az adszorpció és deszorpció kinetikája	81
5.3.2.1. Adszorpciós sebesség (adszorpciós részecskeáram sűrűség)	81
5.3.2.2. Deszorpciós sebesség (deszorpciós részecskeáram sűrűség)	81
5.3.2.3. Monomolekuláris réteg adszorpciója, Langmuir-féle adszorpciós izoterma	83
5.3.2.4. Monomolekuláris adszorbeált réteg kialakulásának ideje („monoréteg-idő”)	84
5.3.2.5. Többrétegű adszorpció: Brunauer-Emmelt-Teller (BET) izoterma	84
5.3.3. Abszorpció, gázelnyelés (okklúzió)	85
5.4. GÁZDIFFÚZIÓ A SZERKEZETI ANYAGOK FALÁBÓL	86
5.4. PERMEÁCIÓ	89
5.6. NÉHÁNY GYAKORLATIAS MEGJEGYZÉS A VÁKUUMRENDSZEREK GÁZFORRÁSAIRÓL	90
6. VÁKUUMMÉRŐK (ÖSSZNYOMÁSMÉRŐK – VACUUM GAUGES)	93
6.1. MECHANIKUS VÁKUUMMÉRŐK	95
6.1.1. Bourdon-csőves vákuummérő	95
6.1.2. Zárt terű (kapszula) vákuummérő	96
6.1.3. Membrános vákuummérő (diaphragm gauge)	97
6.1.4. Kapacitás vákuummérő (capacitance gauge)	97
6.1.5. Piezoellenállás mérőfej	100
6.2. VISZKOZITÁSON ALAPULÓ (FORGÓGOLYÓS) VÁKUUMMÉRŐ	100
6.3. FOLYADÉKOSZLOPOS NYOMÁSMÉRŐK	102
6.3.1. Nyitott végű folyadékoszlopos nyomásmérő	102
6.3.2. Zárt végű folyadékoszlopos nyomásmérő	103
6.3.3. Kompressziós (McLeod típusú) vákuummérő	104
6.4. HŐVEZETÉSEN ALAPULÓ VÁKUUMMÉRŐK	106
6.4.1. Pirani vákuummérő	107

6.4.2. Termokeresztes vagy termopár vákuummérő (thermocouple)	111
6.5. IONIZÁCIÓS VÁKUUMMÉRŐK	112
6.5.1. Izzókatódos ionizációs vákuummérők fajtái	117
6.5.1.1. Koncentrikus trióda típusú ionizációs vákuummérő	118
6.5.1.2. Ionizációs vákuummérő közepes vákuum tartományra	118
6.5.1.3. Bayard-Alpert típusú (BA) ionizációs vákuummérő	118
6.5.1.4. Modulátoros Bayard-Alpert ionizációs vákuummérő	119
6.5.1.5. Extraktoros ionizációs vákuummérő	119
6.5.1.6. Egyéb izzókatódos ionizációs vákuummérők	120
6.5.2. Hidegkatódos ionizációs vákuummérők	121
6.5.2.1. Penning-típusú vákuummérő	122
6.5.2.2. Hidegkatódos invertált magnetron vákuummérő	126
6.5.2.3. Hidegkatódos magnetron vákuummérő	126
6.5.2.4. Megjegyzések a hidegkatódos vákuummérők Használatához	127
6.6. VÁKUUMMÉRŐK HITELESÍTÉSE	128
6.6.1. Dugattyús nyomásmérő	128
6.6.2. Higanyos vákuummérők	129
6.6.3. Sztatikus módszer	129
6.6.3.1. Direkt összehasonlítás nyomásstandarddal	129
6.6.3.2. Sztatikus expanzió módszere	129
6.6.4. Dinamikus módszer	129
6.6.4.1. Direkt összehasonlítás nyomásstandarddal	129
6.6.4.2. Dinamikus expanzió állandó vezetőképességgel	129
6.6.4.3. Molekulanyaláb módszer	130
7. PARCIÁLISNYOMÁS-MÉRŐK (TÖMEGSPEKTROMÉTEREK)	132
7.1. MÁGNESES TÖMEGSPEKTROMÉTER	135
7.2. KVADRUPÓL TÖMEGSPEKTROMÉTER	136
7.3. HÁROMDIMENZIÓS KVADRUPÓL TS - (IONCSAPDA)	139
7.4. REPÜLÉSI-IDŐ TÖMEGSPEKTROMÉTER	139
7.5. IONREZONANCIA SPEKTROMÉTEREK	140
7.6. PARCIÁLIS NYOMÁS MÉRÉSE OPTIKAI ÉS FÉLVEZETŐ ESZKÖZÖKKEL	140
7.7. A TÖMEGSPEKTROMÉTER JELEINEK KIÉRTÉKELÉSE	141
7.8. MARADÉKGÁZ ANALÍZIS	142
8. LYUKKERESÉS	143
8.1. NYOMÁSNÖVEKEDÉS MÓDSZERE	145
8.2. NAGYNYOMÁSÚ (BUBORÉKOS) MÓDSZER	145
8.3. LYUKKERESÉS VÁKUUMMÉRŐVEL	145
8.3.1. Lyukkeresés Pirani vákuummérővel	146
8.3.2. Lyukkeresés ionizációs vákuummérővel	146
8.4. LYUKKERESÉS GETTER-ION SZIVATTYÚVAL	147
8.5. HALOGÉNES LYUKKERESŐ	147
8.6. TÖMEGSPEKTROMÉTERES LYUKKERESÉS	148
8.6.1. A tömegspektrométeres lyukkeresés alpmódszerei	148
8.6.2. Néhány észrevétel a lyukkeresés gyakorlatához	151
8.6.3. A szivárgás mértékének meghatározása	154

9. SZIVATTYÚK	155
9.1 FOLYAMATOS TÉRFOGATVÁLTOZÁSOS SZIVATTYÚ (<i>Positive displacement p.</i>)	155
9.1.1. Alternáló szivattyú (alternating displacement pump) – olajos	155
9.1.1.1. <i>Dugattyús szivattyú (piston pump) – olajkenéses</i>	155
9.1.2. Forgó üritéses szivattyúk (rotary displacement p.) – olajos	156
9.1.2.1. <i>Folyadékgyűrűs szivattyú (liquid ring pump)</i>	156
9.1.2.2. <i>Forgólapátos (rotációs) szivattyú (rotary vane pump)</i>	157
9.1.2.3. <i>Csúszólapátos szivattyú (sliding vane pump)</i>	163
9.1.2.4. <i>Trochoid (hengeres forgódugattyús) szivattyú (trochoid pump)</i>	163
9.1.2.5. <i>Forgódugattyús (Kinney vagy Stokes) szivattyú (rotary piston vagy rotary plunger pump)</i>	164
9.1.3. Száraz kivitelű forgó üritéses szivattyúk	165
9.1.3.1. <i>Roots szivattyú (Roots type rotary piston pump)</i>	165
9.1.3.2. <i>Körmös szivattyú (Claw pump)</i>	170
9.1.3.3. <i>Csavarszivattyú (Screw pump)</i>	171
9.1.3.4. <i>Spirál vagy csigavonalas szivattyú (Scroll pump)</i>	172
9.1.4. Száraz kivitelű alternáló üritéses szivattyúk	172
9.1.4.1. <i>Száraz dugattyús szivattyú (Dry piston pump)</i>	172
9.1.4.2. <i>Membrán- (diafragma) szivattyú (diaphragm pump)</i>	174
9.2. HAJTÓKÖZEGES SZIVATTYÚK (FLUID ENTRAINMENT PUMPS)	175
9.2.1. Folyadékcsugár szivattyú (liquid jet pump)	175
9.2.2. Gőzcsugár-szivattyú (vapour jet pump)	176
9.2.2.1. <i>Fúvókás (ejektoros) szivattyú (ejector pump)</i>	177
9.2.2.2. <i>Diffúziós szivattyú (diffusion pump)</i>	178
9.2.2.3. <i>Kombinált diffúziós-fúvókás (búszter) szivattyú (booster pump)</i>	187
9.3. MOLEKULÁRIS SZIVATTYÚK	188
9.3.1. Molekuláris szivattyú (molecular pump)	188
9.3.2. Turbómolekuláris szivattyú	189
9.3.3. Kombinált (hibrid) turbómolekuláris szivattyú (hybrid/compact turbo p. vagy turbo drag p.)	193
9.3.4. Megjegyzések a (kombinált) turbómolekuláris szivattyúk használatával kapcsolatosan	194
9.4. SZORPCIÓS SZIVATTYÚK (Sorption pumps)	197
9.4.1. Adszorpciós szivattyú (Adsorption pump)	197
9.4.2. Getterszivattyúk (Getter pumps)	199
9.4.2.1. <i>Szublimációs szivattyúk (Sublimation pumps)</i>	199
9.4.2.2. <i>Nem párolgó (térfogati) getterek (Non Evaporable Getters, NEG)</i>	201
9.4.2.3. <i>Szublimációs getter-ion szivattyú: Orbitron</i>	202
9.4.2.4. <i>Porlasztásos getter-ion szivattyú (Sputter-ion pump)</i>	203
9.5. KRIOSZIVATTYÚK (Cryopumps)	210
9.5.1. Krioszivattyúzási módszerek	210
9.5.2. A krioszivattyúk jellemző paraméterei	212
9.5.3. Krioszivattyú fajták	214

10. TECHNIKAI ISMERETEK	220
10.1. VÁKUUMTECHNIKAI ANYAGOK	220
10.2. KÖTÉSEK, TÖMÍTÉSEK, ÁTVEZETŐK	223
10.2.1. Állandó kötések	224
10.2.2. Oldható kötések	224
10.2.3. Mozgásátvezetők	228
10.2.4. Szigetelt átvezetők	230
10.3. VÁKUUMTECHNIKAI ALKATRÉSZEK, ELEMEEK	230
11. VÁKUUMRENDSZEREK FELÉPÍTÉSE, ÜZEMELTETÉSE	233
11.1. VÁKUUMRENDSZEREK	233
11.1.1. Diffúziós szivattyús nagyvákuum-rendszer üzemeltetése	233
11.1.2. Turbómolekuláris szivattyúval szívott nagyvákuum-rendszer üzemeltetése	237
11.1.3. Egyéb UHV-rendszerek	240
11.2 VÁKUUMRENDSZEREK MŰKÖDTETÉSÉVEL KAPCSOLATOS MEGJEGYZÉSEK	242
12. TISZTÍTÁS	245
12.1. TISZTÍTÁSI SZEMPONTOK	245
12.2. TISZTÍTÁSI ELJÁRÁS ULTRANAGY-VÁKUUM (UHV) HASZNÁLATRA	247
12.2.1. Szemrevételezés	247
12.2.2. Fizikai tisztítás	247
12.2.2.1. Sűrített levegős fúvatás	247
12.2.2.2. Gyöngyszórás	247
12.2.2.3. Szén-dioxid havas fúvás	247
12.2.2.4. Forgácsolás, köszörülés	248
12.2.2.5. Polírozás	248
12.2.3. Kémiai tisztítás	248
12.2.3.1. Rozsdamentes acél	248
12.2.3.2. Alumínium	251
12.2.3.3. Réz	251
12.2.3.4. Egyéb fémek	252
12.2.3.5. Üveg	252
12.2.3.6. Kerámiák	252
12.2.4. Passziválás	252
12.2.5. Speciális tisztító eljárások	252
12.2.5.1. Ultrahangos tisztítás	252
12.2.5.2. Elektropolírozás	253
12.2.5.3. Plazma, parázskisülés (glow discharge)	253
12.2.5.4. Kályházás levegőn	254
12.2.6. Módszerek a felületi tisztaság mérésére	254
12.2.7. Újraszennyezés	255
12.2.8. Megjegyzések	255
13. FELADATMEGOLDÁS – FÜGGELÉK	257
14. HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE	265