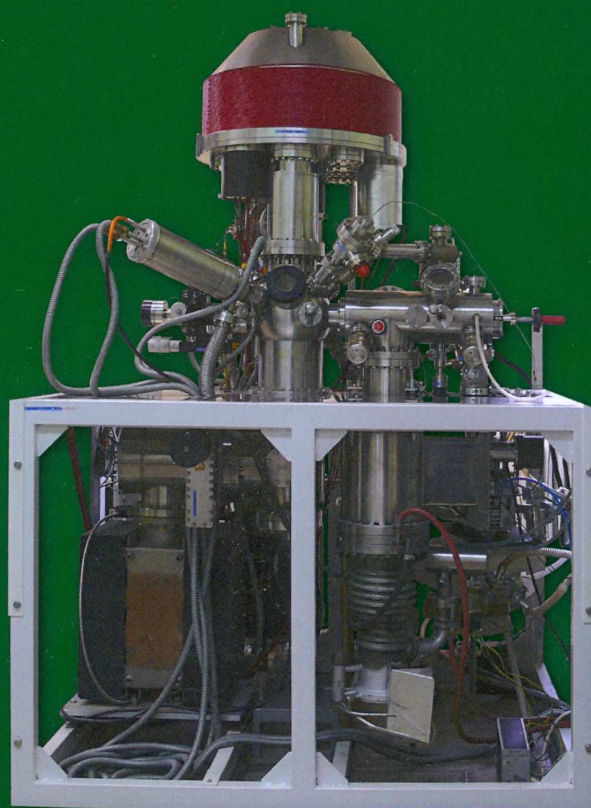


Bohátka Sándor

VÁKUUMFIZIKA ÉS -TECHNIKA

Második, átdolgozott kiadás



ELFT

Bohátka Sándor: VÁKUUMFIZIKA ÉS -TECHNIKA

Második, átdolgozott kiadás

2015.

Tankönyv

Információk: bohatka@atomki.hu,

Megrendelés: ELFT titkárságán (1092 Budapest, Ráday u. 18. fsz. 3.,
tel.: +36-1-201-8682, e-mail: elft@elft.hu)

ELŐSZÓ A MÁSODIK KIADÁSHOZ

A példányszámok elfogyása tette szükségessé a tankönyv második kiadását. Ekkor viszont már felhasználtuk az alkalmat néhány helyen az észlelt hibák kijavítására, didaktikailag előnyösebbnek vélt megoldásokra, pontosításokra és kb. 18%-os bővítésre. Egyébként az első kiadás mondanivalóját továbbra is változatlanul érvényesnek tartjuk a Bevezetéstől a Köszönetnyilvánításon át a legvégéig. E megjegyzéssel kísérve tesszük közzé a második kiadást abban a reményben, hogy hasznát veszi az olvasó.

Debrecen, 2015. január 19.

A SZERZŐ

RÉSZLET A BEVEZETŐBŐL

A tankönyv rendeltetése:

Alapismereteket adni a vákuumfizika és -technika tárgykörében. Szándékaink szerint azoknak szól, akik most ismerkednek e területtel, 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 alaplévekből és a részletekkel foglalkozó közleményekből merítve, valamint saját anyagunk alapján állítottuk össze ezt a tankönyvet. E munka magját lényegében egy több mint két évtizede tartó egyetemi fél éves kurzus anyaga szolgáltatja, amelyet kiegészített a IUUSTA Technical Training Course keretében 2006-ban Debrecenben tartott Gyakorlati Vákuumtechnikai Tanfolyam és további 3 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 céljából 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 szűkössége 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. HALMAZÁLLAPOTOK, A GÁZ MENNYISÉGÉT, ÁLLAPOTÁT MEGHATÁROZÓ FIZIKAI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEIK	15
1.1. HALMAZÁLLAPOTOK	15
1.2. A GÁZ MENNYISÉGÉT, ÁLLAPOTÁT MEGHATÁROZÓ FIZIKAI MENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEIK	15
2. A KINETIKUS GÁZELMÉLET ALAPJAI	17
2.1. AZ IDEÁLIS ÉS A REÁLIS GÁZOK MODELLJE ÉS TÖRVÉNYEI	17
2.1.1. Ideális gázok	17
2.1.2. Reális gázok	19
2.2. SEBESSÉGELOSZLÁS	20
2.3. ENERGIAELOSZLÁS	24
2.4. KÖZEPES SZABAD ÚTHOSSZ, ÜTKÖZÉSEK	25
2.4.1. Közepes szabad úthossz	25
2.4.2. Gázok ütközése	29
2.4.3. Közepes szabad úthossz kísérleti meghatározása	30
2.5. RÉSZECSCKEÁRAM, TÉRFOGATI ÁRAM	32
2.6. GÁZOK NYOMÁSA	35
2.7. GÁZSZÁLLÍTÁS KÉT EDÉNY KÖZÖTTI KIS NYÍLÁSON ÁT	36
2.7.1. Részecskeáram (részecskefluxus), Δq_N kis nyíláson át	36
2.7.2. A szállított gáztömeg (tömegáram, tömegfluxus) Δq_m	36
2.7.3. A szállított gáztérfogat (térfogati gázáram): Δq_V	37
3. TRANSPORT JELENSÉGEK	38
3.1. DIFFÚZIÓ	38
3.2. BELSŐ SÚRLÓDÁS (VISZKOZITÁS) GÁZOKBAN	40
3.3. HŐVEZETÉS GÁZOKBAN	45
4. GÁZOK ÁRAMLÁSA	48
4.1. ÁRAMLÁSI TARTOMÁNYOK	48
4.1.1. Viszkózus (kontinuum) áramlás	49
4.1.2. Molekuláris áramlás	51
4.1.3. Átmeneti áramlás	52
4.2. GÁZÁRAM, SZÍVÓSEBESSÉG. SZIVATTYÚZÓ KÉPESSÉG (GÁZSZÁLLÍTÁS)	52
4.2.1. Szívósebesség mérése	53
4.3. GÁZVEZETÉKEK ÁRAMLÁSI ELLENÁLLÁSA, VEZETŐKÉPESSÉGE	55
4.4. A SZIVATTYÚ EREDŐ ÉS TÉNYLEGES SZÍVÓSEBESSÉGE	55
4.4.1. A szivattyú és a hozzácsatolt vezeték eredő szívósebessége	55
4.4.2. Gázbeömlés hatása a szivattyú tényleges (effektív) szívósebességére	57
4.5. ÁRAMLÁS KIS, VÉKONY FALVASTAGSÁGÚ NYÍLÁSON ÁT	58
4.5.1. Lamináris áramlás kis, vékony falú nyíláson át	58
4.5.1.1. Gázmennyiség-áram	59
4.5.1.2. Vezetőképesség levegőre	60
4.5.1.3. Szívósebesség	61
4.5.2. Molekuláris áramlás kis, vékony falú nyíláson át	61
4.6. MOLEKULÁRIS ÁRAMLÁS NAGY, VÉKONY FALÚ NYÍLÁSON ÁT	63
4.7. ÁRAMLÁS CSÖVEKBEN	64
4.7.1. Lamináris áramlás hosszú csövekben	64

4.7.2. Átmenet a molekuláris és lamináris tartomány között csövekben (Knudsen-áramlás)	69
4.7.3. Molekuláris áramlás csövekben	69
4.7.3.1. Rövid cső vezetőképessége molekuláris áramlásban	71
4.7.3.2. Molekuláris áramlás csövön keresztül – általános leírás	72
4.7.3.3. Transzmissziós módszer a vezetőképesség meghatározására molekuláris áramlásban	74
4.7.3.4. Más módszerek a vezetőképesség meghatározására	75
4.8. RECIPIENS LESZÍVÁSI IDEJE	76
5. GÁZOK ÉS KONDENZÁLT ANYAGOK KÖLCSÖNHATÁSA	78
5.1. GÁZFORRÁSOK A VÁKUUMRENDSZERBEN	78
5.2. GŐZÖK, PÁROLGÁS, KONDENZÁCIÓ	80
5.2.1. Gázok kötődése a kondenzált anyag felületéhez	80
5.2.2. Párolgás	84
5.2.3. Párolgási áram sűrűsége	75
5.3. SZORPCIÓ ÉS DESZORPCIÓ	87
5.3.1. Szorpciós jelenségek, alapfogalmak	87
5.3.2. Az adszorpció és deszorpció kinetikája	88
5.3.2.1. Adszorpciós sebesség (adszorpciós részecskeáram sűrűség)	88
5.3.2.2. Deszorpciós sebesség (deszorpciós részecskeáram sűrűség)	89
5.3.2.3. Monomolekuláris réteg adszorpciója, Langmuir-féle adszorpciós izoterma	92
5.3.2.4. Monomolekuláris adszorbeált réteg kialakulásának ideje („monoréteg-idő”)	93
5.3.2.5. Többrétegű adszorpció: Brunauer-Emmett-Teller (BET) izoterma	94
5.3.3. Abszorpció, gázelnyelés (okklúzió)	95
5.4. GÁZDIFFÚZIÓ A SZERKEZETI ANYAGOK FALÁBÓL	95
5.5. PERMEÁCIÓ	99
5.6. NÉHÁNY GYAKORLATIAS MEGJEGYZÉS A VÁKUUMRENDSZEREK GÁZFORRÁSAIRÓL	101
6. VÁKUUMMÉRŐK (ÖSSZNYOMÁSMÉRŐK – VACUUM GAUGES)	104
6.1. MECHANIKUS VÁKUUMMÉRŐK	106
6.1.1. Bourdon-csőves vákuummérő	107
6.1.2. Zárt terű (kapszula) vákuummérő	107
6.1.3. Membrános vákuummérő (diaphragm gauge)	108
6.1.4. Kapacitás vákuummérő (capacitance gauge)	108
6.1.5. Piezoellenállás vákuummérő	111
6.2. VISZKOZITÁSON ALAPULÓ (FORGÓGOLYÓS) VÁKUUMMÉRŐ	112
6.3. FOLYADÉKOSZLOPOS NYOMÁSMÉRŐK	113
6.3.1. Nyitott végű folyadékoszlopos nyomásmérő	114
6.3.2. Zárt végű folyadékoszlopos nyomásmérő	115
6.3.3. Kompressziós (McLeod típusú) vákuummérő	115
6.4. HŐVEZETÉSEN ALAPULÓ VÁKUUMMÉRŐK	118
6.4.1. Pirani vákuummérő	107
6.4.2. Termokeresztes vagy termopár vákuummérő (thermocouple)	125
6.5. IONIZÁCIÓS VÁKUUMMÉRŐK	126
6.5.1. Az ionizációs vákuummérők hibaforrásai	129
6.5.2. Az izzókatódos ionizációs vákuummérők fajtái	132
6.5.2.1. Koncentrikus trióda típusú ionizációs vákuummérő	132
6.5.2.2. Ionizációs vákuummérő közepes vákuum tartományra	133
6.5.2.3. Bayard-Alpert típusú (BA) ionizációs vákuummérő	133
6.5.2.4. Modulátoros Bayard-Alpert ionizációs vákuummérő	134
6.5.2.5. Extraktoros ionizációs vákuummérő	134

6.5.2.6. Egyéb izzókatódos ionizációs vákuummérők	135
6.5.3. Hidegkatódos ionizációs vákuummérők	136
6.5.3.1. Penning-típusú vákuummérő	137
6.5.3.2. Korszerű hidegkatódos ionizációs vákuummérők	140
A. A Penning-elrendezés hibáinak kiküszöbölése	140
B. A hidegkatódos vákuummérők sajátosságai	142
C. Különlegesen érzékeny hidegkatódos vákuummérők	144
D. Kombinált mérőfejek	145
6.6. VÁKUUMMÉRŐK HITELESÍTÉSE	146
6.6.1. Dugattyús nyomásmérő	146
6.6.2. Higanyos vákuummérők	146
6.6.3. Sztatikus módszer	147
6.6.3.1. Direkt összehasonlítás nyomásstandarddal	147
6.6.3.2. Sztatikus expanzió módszere	147
6.6.4. Dinamikus módszer	147
6.6.4.1. Direkt összehasonlítás nyomásstandarddal	147
6.6.4.2. Dinamikus expanzió állandó vezetőképességgel	147
6.6.4.3. Molekulanyaláb módszer	148
7. PARCIÁLISNYOMÁS-MÉRŐK (TÖMEGSPEKTROMÉTEREK)	150
7.1. MÁGNESES TÖMEGSPEKTROMÉTER	153
7.2. KVADRUPÓL TÖMEGSPEKTROMÉTER	154
7.3. HÁROMDIMENZIÓS KVADRUPÓL TS - (IONCSAPDA)	157
7.4. REPÜLÉSI-IDŐ TÖMEGSPEKTROMÉTER	158
7.5. IONREZONANCIA SPEKTROMÉTEREK	159
7.6. PARCIÁLIS NYOMÁS MÉRÉSE OPTIKAI ÉS FÉLVEZETŐ ESZKÖZÖKKEL	159
7.7. A TÖMEGSPEKTROMÉTER JELEINEK KIÉRTÉKELÉSE	160
7.8. MARADÉKGÁZ ANALÍZIS	161
8. LYUKKERESÉS	162
8.1. NYOMÁSNÖVEKEDÉS MÓDSZERE	164
8.1.1. Leszívós módszer	164
8.2. NAGYNYOMÁSÚ (BUBORÉKOS) MÓDSZER	165
8.3. LYUKKERESÉS VÁKUUMMÉRŐVEL	165
8.3.1. Lyukkeresés Pirani vákuummérővel	165
8.3.2. Lyukkeresés ionizációs vákuummérővel	166
8.4. LYUKKERESÉS GETTER-ION SZIVATTYÚVAL	167
8.5. HALOGÉNES LYUKKERESŐ	167
8.6. TÖMEGSPEKTROMÉTERES LYUKKERESÉS	168
8.6.1. A tömegspektrométeres lyukkeresés alapmódszerei	168
8.6.2. Néhány észrevétel a lyukkeresés gyakorlatához	174
8.6.3. A szivárgás mértékének meghatározása	177
8.6.4. Hidrogénes lyukkeresés	178
9. SZIVATTYÚK(Pumps)	179
9.1 FOLYAMATOS TÉRFOGATVÁLTOZÁSOS SZIVATTYÚ (Positive displacement p.)	179
9.1.1. Alternáló szivattyú (alternating displacement pump) – olajos	179
9.1.1.1. Dugattyús szivattyú (piston pump) – olajkenéses	179
9.1.2. Forgó ürítéses szivattyúk (rotary displacement p.) – olajos, vizes	180
9.1.2.1. Folyadékgyűrűs szivattyú (liquid ring pump)	180
9.1.2.2. Forgólapátos (csúszólapátos, rotációs) szivattyú [rotary (sliding) vane pump]	181
9.1.2.3. Trochoid (hengeres forgódugattyús) szivattyú (trochoid pump)	187
9.1.2.4. Forgódugattyús (Kinney vagy Stokes) szivattyú	

<i>(rotary piston vagy rotary plunger pump)</i>	188
9.1.3. Száraz kivitelű forgó üritéses szivattyúk	190
9.1.3.1. <i>Roots szivattyú (Roots type rotary piston pump, mechanical booster pump)</i>	190
9.1.3.2. <i>Körmös szivattyú (Claw pump)</i>	195
9.1.3.3. <i>Csavarszivattyú (Screw pump)</i>	197
9.1.3.4. <i>Spirál vagy csigavonalas szivattyú (Scroll pump)</i>	198
9.1.3.5. <i>Száraz forgólapátos szivattyú</i>	200
9.1.4. Száraz kivitelű alternáló üritéses szivattyúk	200
9.1.4.1. <i>Száraz dugattyús szivattyú (Dry piston pump)</i>	200
9.1.4.2. <i>Membrán- (diafragma) szivattyú (diaphragm pump)</i>	201
9.2. HAJTÓKÖZEGES SZIVATTYÚK (FLUID ENTRAINMENT PUMPS)	203
9.2.1. <i>Folyadéksugár szivattyú (liquid jet pump)</i>	203
9.2.2. <i>Gőzsugár-szivattyú (vapour jet pump)</i>	204
9.2.2.1. <i>Fúvókás (ejektoros) szivattyú (ejector pump)</i>	205
9.2.2.2. <i>Diffúziós szivattyú (diffusion pump)</i>	206
9.2.2.3. <i>Kombinált diffúziós-fúvókás (búszter) szivattyú (booster pump)</i>	218
9.3. MOLEKULÁRIS SZIVATTYÚK	218
9.3.1. <i>Molekuláris szivattyú (molecular pump)</i>	219
9.3.2. <i>Turbómolekuláris szivattyú</i>	220
9.3.3. <i>Kombinált (hibrid) turbómolekuláris szivattyú (hibrid turbo p. vagy turbo drag p.)</i>	225
9.3.4. <i>Megjegyzések a (kombinált) turbómolekuláris szivattyúk használatával kapcsolatosan</i>	227
9.3.5. <i>Osztott szívású (split flow) turbómolekuláris sziv.</i>	230
9.3.6. <i>Oldalcsatornás szivattyú (side channel pump, OnTool Booster)</i>	231
9.4. SZORPCIÓS SZIVATTYÚK (Sorption pumps)	232
9.4.1. <i>Adszorpciós szivattyú (Adsorption pump)</i>	232
9.4.2. <i>Getterszivattyúk (Getter pumps)</i>	234
9.4.2.1. <i>Szublimációs szivattyúk (Sublimation pumps)</i>	234
9.4.2.2. <i>Nem párolgó (térfogati) getterek (Non Evaporable Getters, NEG)</i>	237
9.4.2.3. <i>Szublimációs getter-ion szivattyú: Orbitron</i>	239
9.4.2.4. <i>Porlasztásos getter-ion szivattyú (Sputter-ion pump)</i>	240
A. <i>Dióda típusú getter-ion szivattyú</i>	240
B. <i>Nemesgáz-dióda típusú getter-ion szivattyú</i>	242
C. <i>Trióda típusú getter-ion szivattyú</i>	242
D. <i>Szublimációs és porlasztásos szivattyú kombinációja</i>	246
9.5. KRIOSZIVATTYÚK (Cryopumps)	247
9.5.1. <i>Krioszivattyúzási módszerek</i>	247
9.5.2. <i>A krioszivattyúk jellemző paraméterei</i>	249
9.5.3. <i>Krioszivattyú fajták</i>	252
10. TECHNIKAI ISMERETEK	258
10.1. VÁKUUMTECHNIKAI ANYAGOK	258
10.1.1. <i>Gőznyomás</i>	259
10.1.2. <i>Kigázosodás</i>	262
10.1.3. <i>Permeáció</i>	263
10.2. KÖTÉSEK, TÖMÍTÉSEK, ÁTVEZETŐK	264
10.2.1. <i>Állandó kötések</i>	265
10.2.2. <i>Oldható kötések</i>	266
10.2.3. <i>Csatlakozások, átvezetők</i>	269
10.2.3.1. <i>Csőmembránok (bellows)</i>	269
10.2.3.2. <i>Hosszanti és forgó mozgásátvezetők (feedthroughs)</i>	270
10.2.3.3. <i>Szigetelt átvezetők</i>	272
10.2.4. <i>Szigetelt átvezetők</i>	230

10.3. VÁKUUMTECHNIKAI ALKATRÉSZEK, ELEMEEK	273
11. VÁKUUMRENDSZEREK FELÉPÍTÉSE, ÜZEMELTETÉSE	276
11.1. VÁKUUMRENDSZEREK	276
11.1.1. Diffúziós szivattyús nagyvákuum-rendszer üzemeltetése	276
11.1.2. Turbómolekuláris szivattyúval szívott nagyvákuum-rendszer üzemeltetése	280
11.1.3. Példák egyéb UHV-rendszerekre	284
11.2 VÁKUUMRENDSZEREK MŰKÖDTETÉSÉVEL KAPCSOLATOS MEGJEGYZÉSEK	285
12. TISZTÍTÁS	289
12.1. TISZTÍTÁSI SZEMPONTOK	289
12.2. TISZTÍTÁSI ELJÁRÁS ULTRANAGY-VÁKUUM (UHV) HASZNÁLATRA	290
12.2.1. Szemrevételezés	290
12.2.2. Fizikai tisztítás	291
12.2.2.1. Sűrített levegős fúvatás	291
12.2.2.2. Gyöngyszórás	291
12.2.2.3. Szén-dioxid havas fúvás	291
12.2.2.4. Forgácsolás, köszörülés	291
12.2.2.5. Polírozás	292
12.2.3. Kémiai tisztítás	292
12.2.3.1. Rozsdamentes acél	292
12.2.3.2. Alumínium	295
12.2.3.3. Réz	295
12.2.3.4. Egyéb fémek	296
12.2.3.5. Üveg	296
12.2.3.6. Kerámiák	296
12.2.4. Passziválás	296
12.2.5. Speciális tisztító eljárások	296
12.2.5.1. Ultrahangos tisztítás	296
12.2.5.2. Elektropolírozás	297
12.2.5.3. Plazma, parázskisülés (glow discharge)	297
12.2.5.4. Kályházás levegőn	298
12.2.6. Módszerek a felületi tisztaság mérésére	298
12.2.7. Újraszennyezés	299
12.2.8. Megjegyzések	300
13. FELADATMEGOLDÁS – FÜGGELÉK	301
14. HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE	309