

	PŘEDMLUVA	12
1.	ÚVOD	14
1.1.	Problematika nízkých tlaků	14
1.2.	Vakuum	14
1.3.	Význam vysokého vakua pro vědu, techniku a průmysl	14
1.4.	Využití vysokého a velmi vysokého vakua	15
1.5.	Plyn a některé vlastnosti jeho molekul (atomů).	16
1.6.	Vysoké vakuum – nízký tlak	18
1.7.	Ideální vakuum – tlak rovný nule	18
1.8.	Vliv teploty na stav vakua	19
1.8.1.	Plyn při teplotě absolutní nuly	19
1.8.2.	Plyn při teplotě nad absolutní nulou	19
1.9.	Plyny v prostoru, na povrchu a uvnitř látek	20
1.9.1.	Volný plyn, jeho koncentrace a hustota	20
1.9.2.	Vázaný plyn a jeho koncentrace	21
1.9.3.	Plyn uvnitř látek, jeho koncentrace a hustota	21
2.	VOLNÉ PLYNY	22
2.1.	Volné plyny ve statickém stavu	22
2.1.1.	Rychlost molekul (atomů) plynu	22
2.1.2.	Energie a teplota plynu	23
2.1.3.	Střední rychlost molekul (atomů) plynu	24
2.1.4.	Srážky molekul (atomů) plynu	25
2.1.5.	Střední volná dráha molekuly (atomu) plynu	26
2.1.6.	Počet úderů na stěnu	29
2.1.7.	Tlak plynu	30
2.1.8.	Daltonův zákon	31
2.1.9.	Jednotky tlaku	32
2.1.10.	Souvislost mezi tlakem, koncentrací a teplotou	33
2.1.11.	Závislost střední volné dráhy molekuly plynu na tlaku a teplotě	34
2.1.12.	Atmosférický vzduch	35
2.1.13.	Obory tlaků a vakua	37
2.1.14.	Zákony kinetické teorie plynů	38
2.1.15.	Množství plynu	40
2.1.16.	Stavová rovnice plynu	40
2.2.	Volné plyny v dynamickém stavu	41
2.2.1.	Střední volná dráha a charakter procesů. Knudsenovo číslo	41
2.2.2.	Difúze plynu	42
2.2.3.	Efúze plynu	44
2.2.4.	Přenos energie molekulami plynu	45
2.2.5.	Viskozita plynu (vnitřní tření)	47
2.2.6.	Přenos tepla plynem	50

2.3.	Proudění plynu	54
2.3.1.	Druhy proudění a tlak	54
2.3.2.	Veličiny spojené s prouděním plynu	55
2.4.	Vakuová vodivost	62
2.4.1.	Vodivost otvoru	62
2.4.2.	Vodivost potrubí	66
2.4.2.1.	Vodivost potrubí při molekulárních podmínkách	67
2.4.2.2.	Vodivost potrubí při viskózních podmínkách	75
2.5.	Proudění plynu štěrbinami	79
3.	VÁZANÉ PLYNY	81
3.0.	Obecná charakteristika	81
3.0.1.	Sorpce a desorpce plynů	81
3.0.2.	Materiály užívané ve vakuové technice	82
A.	Plyny adsorbované na povrchu.	83
3.1.	Interakce v plynech	83
3.1.1.	Druhy interakcí	83
3.1.2.	Síly a energie vzájemného působení molekul	83
3.1.3.	Vazbová energie	84
3.1.4.	Van der Waalsovy síly a vazby	84
3.1.5.	Atomy a molekuly	87
3.1.6.	Atomové vazby	88
3.1.7.	Kovové vazby	89
3.1.8.	Aktivační energie	90
3.1.9.	Vazba mezi atomy se stejnou polaritou	90
3.1.10.	Iontová (heteropolární) vazba	90
3.1.11.	Přerušení vazby (disociace, rozklad, záměna)	91
3.1.12.	Aktivace a ionizace plynu	91
3.1.13.	Ionizace plynu	91
3.1.14.	Souvislost mezi rychlostí iontu, teplotou a potenciálem	94
3.1.15.	Fyzikální a chemická adsorpce na povrchu	94
3.2.	Adsorpce plynů	96
3.2.1.	Koeficient ulpění, stupeň pokrytí a počet molekul v monomolekulární vrstvě	96
3.2.2.	Vliv adsorbovaných plynů ve vakuu	99
3.2.3.	Počet adsorbovaných molekul	99
3.2.4.	Adsorpční proud a rychlost	100
3.2.5.	Doba pobytu molekuly na povrchu	100
3.2.6.	Souvislost doby pobytu s tlakem	101
3.2.7.	Doba tvorby úplného pokrytí povrchu	102
3.2.8.	Povrch vakuově čistý	102
3.3.	Desorpce plynu	103
3.3.1.	Počet desorbovaných molekul plynu	103
3.3.2.	Rovnováha mezi adsorpcí a desorpcí	104
3.3.3.	Adsorpční rovnice	104
3.4.	Vypařování a kondenzace	105
3.4.1.	Vypařovací a kondenzační teplo	105
3.4.2.	Tlak nasycených par	106
3.4.3.	Vypařovací rychlost	111
3.4.4.	Význam sorpce, desorpce a tlaku par pro vakuovou techniku	112

B.	Plyny v pevných látkách	113
3.5.	Rozpouštění plynů v pevných látkách	114
3.6.	Difúze plynů v pevných látkách	116
3.7.	Pronikání plynů stěnou	118
3.7.1.	Proudění plynů v pevných látkách	118
3.7.2.	Koeficient a konstanta pronikání plynu	119
3.7.3.	Uvolňování plynu z povrchu a tok plynu na povrchu u velmi tlusté stěny	122
3.7.4.	Uvolňování plynu z povrchu rovinné desky konečné tloušťky	123
3.7.5.	Proudění plynu ve stěnách o konečné tloušťce	123
3.8.	Pronikání helia sklem	124
3.8.1.	Příklad	126
3.9.	Desorpční proud z různých povrchů	127
4.	ZÍSKÁVÁNÍ VYSOKÉHO VAKUA	130
4.0.	Úvod	130
4.0.1.	Tlak ve vakuovém systému	131
4.0.2.	Pokles tlaku při výtoku molekul plynu ze systému	131
4.0.3.	Otvor do vysokého vakua jako ideální vývěva	133
4.0.4.	Otvor do prostoru s nenulovým tlakem	133
4.0.5.	Klasifikace vývěv	134
A.	Transportní vývěvy	135
4.1.	Mechanické vývěvy	136
4.1.1.	Pístové vývěvy	140
4.1.1.1.	Rtuťové pístové vývěvy	140
4.1.1.2.	Mechanické pístové vývěvy	141
4.1.2.	Rotační vývěvy	142
4.1.2.1.	Rotační rtuťové vývěvy	143
4.1.3.	Rotační olejové vývěvy	143
4.1.3.1.	Rotační olejové vývěvy s lopatkami v rotoru	144
4.1.3.2.	Rotační olejová vývěva se satorovým šoupátkem	145
4.1.3.3.	Rotační olejová vývěva s kolujícím rotorem a čtyřhrannou trubicí	146
4.1.4.	Rotační olejové vývěvy s proplachováním	147
4.1.5.	Spojení několika rotačních olejových vývěv	150
4.1.6.	Oleje pro rotační vývěvy	150
4.1.7.	Příkon olejových rotačních vývěv	153
4.1.8.	Pracovní charakteristiky olejových rotačních vývěv	153
4.1.9.	Suché rotační vývěvy	155
4.1.9.1.	Suché Rootsovy vývěvy	155
4.1.9.2.	Suché rotační vývěvy s excentrem	160
4.2.	Vývěvy pracující na základě přenosu impulsu	160
4.2.1.	Molekulární vývěvy	161
4.2.2.	Vývěvy s proudem pracovní tekutiny	166
4.2.2.1.	Vodní vývěvy	166
4.2.2.2.	Vývěvy s proudem vzduchu	168
4.2.2.3.	Vývěvy s proudem páry	168
4.3.	Společná funkce difúzních a rotačních vývěv	201
4.3.1.	Volba primární vývěvy pro difúzní vývěvu	201
4.3.2.	Společná funkce vývěv	201
4.3.3.	Čerpací doba	203
4.4.	Vývěvy s elektrostatickým polem	205

4.5.	Adsorpčně transportní a akomodačně efúzní vývěvy	206
4.5.1.	Adsorpčně transportní vývěvy	206
4.5.2.	Akomodačně efúzní vývěvy	208
B.	Sorpční vývěvy	208
4.6.	Kryogenní vývěvy	209
4.6.1.	Pracovní princip	209
4.6.2.	Kapalný stav plynů	210
4.6.3.	Čerpací rychlost kryogenní vývěvy	214
4.6.4.	Mezní tlak kryogenních vývěv	216
4.6.5.	Konstrukce kryogenních vývěv	218
4.6.6.	Pomocná zařízení pro kryogenní vývěvy	222
4.6.7.	Nízkoteplotní lapače par	223
4.6.7.1.	Regulace hladiny kryogenní kapaliny	224
4.6.7.2.	Chladicí agregáty	225
4.6.8.	Vymrazovačky	225
4.7.	Zeolitové vývěvy	226
4.7.1.	Princip činnosti	226
4.7.2.	Závislost vlastností zeolitů na teplotě	228
4.7.3.	Konstrukce kryogenních zeolitových vývěv	229
4.7.4.	Zeolitové lapače olejových par	232
4.8.	Sublimační vývěvy	235
4.8.1.	Princip činnosti a konstrukce	235
4.8.2.	Sublimační element	237
4.8.3.	Charakteristiky sublimační vývěvy	238
4.8.4.	Sublimační kryogenní vývěvy	239
4.9.	Iontové vývěvy	240
4.9.0.	Princip činnosti a klasifikace iontových vývěv	240
4.9.1.	Iontové vývěvy se žhavou katodou	241
4.9.1.1.	Iontová sublimační vývěva se vsunováním titanu	241
4.9.1.2.	Iontová sublimační triodová vývěva	242
4.9.1.3.	Iontová sublimační vývěva s vypařováním titanu	243
4.9.1.4.	Elektrostatická iontová sublimační vývěva	243
4.9.2.	Iontové vývěvy se studenou katodou	245
4.9.2.1.	Diodové výbojové vývěvy	246
4.9.2.2.	Výbojová vývěva s žebrovitou katodou	249
4.9.2.3.	Triodová výbojová vývěva	249
4.10.	Pracovní charakteristiky sorpčních vývěv	251
4.11.	Závěrečné poznámky o sorpčních vývěvách	252
5.	MĚŘENÍ VAKUA	254
A.	Měření celkových tlaků	254
5.1.	Barometrické manometry	255
5.1.1.	Barometrický manometr s uzavřeným ramenem	256
5.1.2.	Zkrácený barometrický manometr	256
5.1.3.	Olejový barometrický manometr	257
5.1.4.	Optické interferenční metody měření rozdílu výšek hladin kapalin	257
5.1.5.	Rtuťový plovákový manometr	258
5.2.	Mechanické manometry	259
5.3.	Kompresní manometry	260
5.3.1.	MacLeodův manometr	261
5.3.1.1.	Princip činnosti a charakteristiky	261

5.3.1.2.	Stanovení polohy konce kompresní kapiláry extrapolací	263
5.3.1.3.	Modifikace kompresních manometrů	264
5.3.1.4.	Zavedení rtuti do kompresního zásobníku	265
5.3.1.5.	Hranice měřicího oboru a citlivost kompresního manometru	266
5.3.1.6.	Příklad konstrukčního řešení kompresního manometru	266
5.3.1.7.	Pracovní charakteristiky kompresních manometrů	266
5.4.	Tepelné manometry	267
5.4.0.	Pracovní princip a klasifikace	267
5.4.1.	Odporové vakuometry	269
5.4.1.1.	Pracovní princip a charakteristiky vakuometru	269
5.4.1.2.	Metody měření tlaku	272
5.4.2.	Vakuometr s konstantním odporem v můstkovém zapojení	277
5.4.3.	Termistorový vakuometr	279
5.4.4.	Termočláňkový vakuometr	280
5.4.5.	Dilatační vakuometr	281
5.4.6.	Pracovní charakteristiky tepelných vakuometrů	282
5.5.	Molekulární a viskózní vakuometry	282
5.5.1.	Molekulární vakuometry	282
5.5.1.1.	Pracovní princip a jeho charakteristiky	282
5.5.1.2.	Měření tlaku metodou měření doby kmitu	285
5.5.1.3.	Měření tlaku metodou měření amplitud	286
5.5.2.	Viskózní vakuometry	287
5.6.	Ionizační vakuometry	288
5.6.0.	Pracovní princip a klasifikace ionizačních vakuometrů	288
5.6.1.	Vakuometry s regulovanou ionizací	289
5.6.1.1.	Elektronové ionizační vakuometry	289
5.6.1.2.	Elektronové ionizační vakuometry s nízkou dolní hranicí	305
5.6.1.3.	Radioizotopové vakuometry (alfatrony)	314
5.6.2.	Vakuometry s neregulovanou ionizací	316
B.	Měření parciálních tlaků	325
5.7.	Hmotnostní spektrometry	325
5.7.1.	Statické hmotnostní spektrometry	328
5.7.1.1.	Statické hmotnostní spektrometry s kruhovými drahami	328
5.7.1.2.	Statický hmotnostní spektrometr s cykloidální trajektorií (trochotron)	330
5.7.2.	Dynamické hmotnostní spektrometry	332
5.7.2.1.	Dynamický hmotnostní spektrometr se spirálovou trajektorií (omegatron)	332
5.7.2.2.	Dynamické průletové hmotnostní spektrometry (chronotrony)	335
5.7.2.3.	Rezonanční vysokofrekvenční dynamický hmotnostní spektrometr	336
5.7.2.4.	Kvadrupólový hmotnostní spektrometr (hmotnostní filtr)	339
5.7.2.5.	Monopólový spektrometr	339
5.7.3.	Poznámky k hmotnostním spektrometrům	341
C.	Cejchování vakuometrů	341
5.8.	Metody cejchování	341
5.8.1.	Statické metody	342
5.8.1.1.	Expanzní metoda	342
5.8.1.2.	Metoda pomalého vzrůstu tlaku	342
5.8.2.	Dynamické metody	343
5.8.2.1.	Metoda s konstantním proudem	344
5.8.2.2.	Standardní metoda cejchování vakuometrů v oboru tlaků 10^{-1} až 10^{-5} Pa	345

D.	Měření ostatních veličin	346
5.9.	Měření proudu a čerpací rychlosti	346
5.9.1.	Měření proudu plynu	346
5.9.2.	Měření čerpací rychlosti	347
5.9.2.1.	Metoda měření čerpací rychlosti při konstantním objemu	347
5.9.2.2.	Metoda měření čerpací rychlosti při konstantním tlaku	348
5.9.2.3.	Metoda měření čerpací rychlosti při konstantním množství plynu	349
E.	Hledání netěsnosti	350
5.10.	Netěsnosti ve vakuových systémech	350
5.10.1.	Základy hledání netěsnosti	351
5.10.2.	Metody hledání netěsnosti	351
5.10.2.1.	Metody hledání netěsnosti v komorách	352
5.10.2.2.	Hledání netěsnosti ve vakuových systémech	355
5.10.3.	Hledání netěsnosti spektrometrickým přístrojem	359
6.	PRVKY VAKUOVÝCH APARATUR	361
6.1.	Vakuová zařízení	361
6.2.	Materiály pro vakuové aparatury	362
6.2.1.	Kovy	362
6.2.2.	Sklo	365
6.2.3.	Keramické materiály	369
6.2.4.	Organické materiály	371
6.3.	Pevné nerozebíratelné spoje různých materiálů	375
6.4.	Vakuová potrubí	377
6.5.	Rozebíratelné spoje	379
6.6.	Ventily a kohouty	383
6.6.1.	Ventily	383
6.6.2.	Kohouty	387
6.6.3.	Vpouštěcí ventily	387
6.7.	Vakuové komory	388
6.8.	Zásobníky čistých plynů	389
6.9.	Sušící elementy	390
6.10.	Okénka	391
6.11.	Elektrické průchodky	393
6.1.2.	Zařízení pro přenos pohybu do vysokého vakua	393
6.13.	Vakuová hygiena	395
7.	VAKUOVÉ APARATURY	396
7.0.	Využití vysokého vakua	396
7.1.	Metalurgická vysokovakuová zařízení	396
7.2.	Zařízení pro sváření elektronovým svazkem	398
7.3.	Zařízení pro měření množství a složení plynů uvolňovaných při zahřátí	399
7.4.	Vakuová pokovovací zařízení	400
7.4.1.	Vakuové napařování	401
7.4.2.	Katodové napařování	405
7.5.	Použití vysokého vakua v urychlovačích částic	407
7.5.1.	Protonový sychrotoron „Nimrod“	407
7.5.2.	Lineární urychlovač Orsay	409
7.6.	Aparatury pro získávání a výzkum plazmatu	410
7.7.	Aparatury pro napodobení kosmického prostoru	413

7.8.	Čerpání odtavených přístrojů	416
7.9.	Vysokovakuové plnicí aparatury	419
7.10.	Ultravakuové aparatury	421
7.11.	Aparatura pro cejchování vakuometrů a kontrolu vývěv.	423
7.12.	Oddělování vakuového systému od vývěvy	423
7.12.1.	Odtavování.	423
7.12.2.	Stisk (a svaření)	424
7.13.	Automatizace vakuových aparatur	424
7.14.	Bezpečnost práce a pracovní hygiena	426
	Literatura	427
	Rejstřík.	434