

Obsah

Seznam nejdůležitějších symbolů a zkratek 11

1. Vlastnosti stabilních izotopů a jejich význam 13

- 1.1. Izotopie stabilních prvků — úvod a historický přehled 13
 - 1.1.1. Základní rozdíly ve vlastnostech a chování stabilních nuklidů 14
- 1.2. Stabilní nuklid (prvek) 14
 - 1.2.1. Izotopové složení přirozených prvků a jeho změny 15
 - 1.2.2. Pravidla stálosti izotopových jader 19
 - 1.2.3. Model atomového jádra a energie jeho tvorby 23
- 1.3. Základní třídění a teoretické podklady izotopových jevů 25
 - 1.3.1. Izotopové jevy vyvolané přímým vlivem rozdílů absolutní nebo relativní hmotnosti izotopních nuklidů 25
 - 1.3.2. Nepřímý vliv rozdílů hmotností, prostřednictvím energie nulového bodu (kvantované izotopové jevy), na chování izotopních nuklidů 26
 - 1.3.3. Kvantitativní hodnocení izotopových jevů 27

2. Izotopové jevy přímo závislé na rozdílu hmotností 29

- 2.1. Hmotnost a měrná hmotnost (hustota) izotopových molekul 29
- 2.2. Chování izotopových molekul v tíhovém poli 30
- 2.3. Transportní pochody 32
 - 2.3.1. Viskozita izotopových molekul 32
 - 2.3.2. Tepelná vodivost izotopových molekul 33
 - 2.3.3. Difúzní pochody 34
 - 2.3.3.1. Difúze kapilárou nebo porézní přepážkou 34
 - 2.3.3.2. Difúze v nosném plynu 36
 - 2.3.3.3. Difúze v expandujícím svazku (separační tryska) 36
 - 2.3.3.4. Termální difúze 38
 - 2.3.4. Migrace iontů v elektrickém poli 41
 - 2.3.5. Molekulární destilace 43
 - 2.3.6. Pohyb ionizovaných molekul plynů v elektrickém a magnetickém poli 44

3. Izotopové jevy závislé na energii nulového bodu	46
3.1. Spektrální chování izotopových molekul	46
3.1.1. Atomová spektra	46
3.1.2. Molekulární spektra	49
3.1.2.1. Rotační spektra biatomové molekuly	50
3.1.2.2. Rotačně vibrační spektra	51
3.1.2.3. Ramanova spektroskopie	53
3.2. Rovnovážné izotopové jevy	54
3.2.1. Izotopové výměnné reakce a rovnovážná konstanta	54
3.2.2. Výpočet rovnovážné konstanty izotopové výměnné reakce	58
3.2.3. Rovnovážná konstanta izotopových výměnných reakcí a separační faktor	63
3.3. Kinetické izotopové jevy	64
3.3.1. Základní pojmy pro výklad kinetických izotopových jevů	64
3.3.2. Teorie kinetického izotopového efektu	65
3.3.3. Experimentální určení intermolekulárního kinetického izotopového efektu	70
3.4. Fotochemie a laserová chemie	72
3.4.1. Základní pojmy a principy absorpce světla hmotou	72
3.4.2. Užití fotochemie a laserové chemie jako izotopové obohacovací metody	81
3.4.2.1. Jednofotonové vybuzení s následnou přímou chemickou reakcí excitované částice	81
3.4.2.2. Dvoufotonová selektivní ionizace (DFSI) a disociace (DFSD) spojená s následnou chemickou reakcí, resp. iontooptickou separací	85
3.5. Adsorpce a desorpce izotopních molekul	87
3.6. Tenze par izotopových molekul	90
3.7. Výměnná destilace	92
3.8. Výměnné reakce ve vícefázových soustavách	94
3.9. Elektrolýza roztoků izotopových molekul	96
4. Izotopové efekty prostředí	98
4.1. Základní popis jevu	98
4.2. Pro prostředí lehké a těžké vody	98
5. Dělení a obohacování izotopů	102
5.1. Obecné a metodické aspekty dělení a obohacování	102
5.1.1. Vlastnosti separačního elementu s jedním vstupem	104
5.1.2. Separační element se dvěma vstupy (patro kontinuální protiproudé kolony)	107
5.1.3. Hodnotová funkce, separační výkon (kapacita) elementu s jedním a dvěma vstupy	109
5.1.4. Separační proces z termodynamického hlediska	112
5.1.5. Elementární teorie protiproudé kaskády	114
5.1.6. Funkční a ekonomický rozbor ideální kaskády	122
5.1.7. Určení času ustavení stacionárního stavu v kaskádě	124
5.2. Nejvýznamnější technologicky rozvíjené obohacovací metody	127
5.2.1. Elektromagnetický separátor	128
5.2.2. Odstředivková metoda	129
5.2.3. Separační tryska	132
5.2.4. Difúze porézní přepážkou	133
5.2.5. Termální difúze v plynné a kapalně fázi	134
5.2.6. Hmotová difúze a metoda strhávání do nosného plynu	138
5.2.7. Příprava a obohacování stabilních izotopů destilací	140
5.2.7.1. Příprava těžké vody a deuteria destilací	143

5.2.7.2.	Příprava izotopů ^{10}B , ^{13}C , ^{15}N , ^{17}O , ^{18}O , ^{22}Ne , ^{36}Ar , ^{37}Cl destilací	146
5.2.8.	Užití migrace iontů v elektrickém poli k obohacování izotopů	147
5.2.9.	Elektrochemické obohacování izotopů	149
5.2.10.	Využití izotopových výměnných reakcí k obohacování izotopů	151
5.2.10.1.	Výměnné reakce v systémech plyn-plyn	152
5.2.10.2.	Výměnné reakce v systémech plyn-kapalina	152
5.2.10.3.	Výměnné reakce v systémech plyn-pevná fáze (plynová chromatografie)	156
5.2.10.4.	Výměnné reakce v systémech kapalina-kapalina	158
5.2.10.5.	Výměnné reakce v systémech kapalina-pevná fáze (užití měničů iontů)	158
5.2.10.6.	Výměnná destilace	167
5.2.10.7.	Užití teplotní závislosti separačního faktoru izotopových výměnných reakcí k obohacování izotopů	168
5.2.11.	Některé speciální separační metody	172
6.	Metody analýzy stabilních izotopů	176
6.1.	Úvod a rozdělení analytických metod	176
6.2.	Vyjadřování izotopového složení	177
6.3.	Určení absolutní hmotnosti nuklidů a izotopového složení prvků	180
6.4.	Hmotnostní spektrometrie	182
6.4.1.	Hmotnostní spektrometry s parabolickým zobrazením	185
6.4.2.	Hmotnostní spektrometry se směrovou fokusací iontového svazku	186
6.4.3.	Hmotnostní spektrometry s dvojitou fokusací	188
6.4.3.1.	Hmotnostní spektrometr podle Astona a obecné podmínky dvojité fokusace	188
6.4.3.2.	Hlavní konstrukční principy přístrojů s dvojitou fokusací	191
6.4.4.	Vysokofrekvenční hmotnostní spektrometry	193
6.4.4.1.	Omegatron	194
6.4.4.2.	Hmotnostní filtr	195
6.4.4.3.	Vysokofrekvenční hmotnostní spektrometr podle Benetta a Redheata	196
6.4.4.4.	Pulsní vysokofrekvenční hmotnostní filtr	197
6.4.5.	Konstrukce a vlastnosti iontových zdrojů pro hmotnostní spektrometry	198
6.4.5.1.	Produkce iontů dopadem elektronového svazku na molekuly analyzovaného plynu	199
6.4.5.2.	Termionické zdroje	200
6.4.5.3.	Speciální typy iontových zdrojů	201
6.4.6.	Iontový kolektor a registrace iontových proudů	202
6.4.7.	Vstupní část hmotnostního spektrometru a úprava vzorku	204
6.4.8.	Způsoby kvantitativního vyhodnocení hmotnostního spektra a metodika analýzy	207
6.4.9.	Užití hmotnostní spektroskopie a spektrometrie k určení hmotnosti izotopů a jejich četností	216
6.5.	Nespecifické metody izotopové analýzy	219
6.5.1.	Hustotové metody určení izotopového složení	219
6.5.1.1.	Stanovení izotopového složení plynů	219
6.5.1.2.	Stanovení izotopového složení kapalin	220

6.5.1.2.1.	Pyknometrická metoda stanovení obsahu deuteria ve vodě	221
6.5.1.2.2.	Plováková metoda stanovení obsahu deuteria ve vodě	222
6.5.1.2.3.	Kapková metoda určení izotopového složení vody	224
6.5.2.	Užití tepelné vodivosti plynů k izotopové analýze (katarometrie)	226
6.5.3.	Refraktometrická a interferometrická analýza stabilních izotopů	227
6.5.4.	Elektrochemické metody analýzy stabilních izotopů	227
6.6.	Specifické metody analýzy stabilních izotopů	229
6.6.1.	Užití plynové chromatografie k analýze stabilních izotopů	229
6.6.2.	Spektrální metody analýzy stabilních izotopů	233
6.6.2.1.	Emisní atomová spektroskopie	234
6.6.2.2.	Emisní molekulární spektroskopie	237
6.6.2.3.	Absorpční atomová spektroskopie	237
6.6.2.4.	Absorpční molekulární spektroskopie	238
6.6.2.5.	Nedisperzní absorpční infračervená spektroskopie	240
6.6.3.	Specifické jaderné metody izotopové analýzy	241
6.6.3.1.	Metody izotopové analýzy založené na absorpci a rozptylu záření	242
6.6.3.2.	Užití aktivizační analýzy k určení izotopového složení	243
6.6.3.3.	Jaderná rezonanční spektroskopie	246
7.	Užití stabilních izotopů ve vědě a technice	247
7.1.	Význam stabilních izotopů ve vědě a technice	247
7.2.	Užití stabilních izotopů v technice a technologii	248
7.3.	Základní pracovní metody užití stabilních izotopů jako prostředků výzkumu	250
7.3.1.	Stopovací technika s užitím stabilních izotopů	250
7.3.2.	Zřetřovací analýza s užitím stabilních izotopů	251
7.4.	Užití stabilních izotopů ve fyzikálním výzkumu	257
7.5.	Význam stabilních izotopů ve fyzikálně chemickém výzkumu	259
7.5.1.	Příprava značených sloučenin	261
7.5.2.	Rovnovážné izotopové efekty (izotopové výměnné reakce)	263
7.5.3.	Kinetické izotopové efekty	266
7.5.4.	Užití stabilních izotopů ve fyzikálně chemickém výzkumu jako stopovačů	268
Dodatek 1		271
Dodatek 2		275
Literatura		276
Věcný rejstřík		297