

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přirodovědecká fakulta

Katedra anorganické chemie

**VZÁCNÉ PLYNY VE VÝUCE NA STŘEDNÍCH
ŠKOLÁCH**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:	Jiří Lásko
Studijní program:	B1407 Chemie
Studijní obor:	Chemie – Matematika
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Olomouc 2013

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vzácné plyny ve výuce na středních školách“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny jsem uvedl v seznamu literatury.

Souhlasím s tím, že je práce prezenčně zpřístupněna na katedře Anorganické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne

.....

Jiří Lásko

Děkuji prof. RNDr. Jiřímu Kameníčkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi ochotně poskytoval při vypracování bakalářské práce.

Děkuji také doc. RNDr. Martě Klečkové, CSc. za pomoc při výběru středoškolských učebnic a za odborné konzultace v oblasti didaktiky.

Dále bych chtěl rovněž poděkovat Mgr. Aleně Pecinové za možnost vyzkoušet modul ve výuce na Gymnáziu ve Vysokém Mýtě.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení:	Jiří Lásko
Název práce:	Vzácné plyny ve výuce na středních školách
Typ práce:	Bakalářská práce
Pracoviště:	Katedra anorganické chemie
Vedoucí práce:	Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.
Rok obhajoby práce	2013

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá analýzou středoškolských učebnic chemie a fyzika z hlediska obsahu informací o vzácných plynech.

Hlavním cílem práce je vytvořit výukovou prezentaci kapitoly Vzácné plyny a doprovodný text k této prezentaci.

Z didaktického hlediska by měla práce pomoci žákům k lepšímu pochopení a zapamatování si poznatků o vzácných plynech.

Klíčová slova:	Vzácné plyny, výuka chemie, zkapalňování plynů, dosahování nízkých teplot
Počet stran:	62
Počet příloh:	2
Jazyk:	Český

Bibliographical identification

Author's first name

and surname:

Jiří Lásko

Title:

Noble gases in chemistry education at secondary schools

Type of thesis:

Bachelor

Department:

Department of Inorganic Chemistry

Supervisor:

Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Thesis defence year:

2013

Abstract:

This thesis deals with the analysis of secondary school chemistry and physics textbooks in terms of the information content of noble gases.

The main goal of this work is to create an educational presentation about chapter Noble gases and accompanying text for this presentation.

From the didactic point of view this thesis should help students for better understanding and remembering the knowledge of noble gases.

Keywords:

Noble gases, teaching chemistry, liquefaction of gases, achieving low temperatures

Number of pages:

62

Number of appendices:

2

Language:

Czech

Obsah

I. Úvod, historie	8
Cíl práce	9
II. Teoretická část.....	10
II. 1 Učebnice chemie	10
Objevy vzácných plynů	10
Vlastnosti	10
Výskyt.....	11
Výroba	11
Použití.....	11
Sloučeniny	11
II. 2 Učebnice fyziky.....	17
Vzácné plyny	17
Zkapalňování plynů	17
Metody zkapalňování plynů	18
II. 3 Zahraniční učebnice	22
Chemie 1a pro střední školy [23]	22
Chemistry in context 6th Edition [24]	22
Chemie für die Sekundarstufe I, Länderausgabe Band 1 [26].....	23
Chemie 1 für die Oberstufe [27].....	23
II. 4 Nově připravené sloučeniny Xe z poslední doby.....	26
II. 5 Využití helia pro dosahování nízkých teplot.....	28
Vývoj chladících médií.....	28
Supravodivost	29
Využití supravodivosti.....	30
III. Praktická část.....	33
III. 1 Vzácné plyny – úvod	33
III. 2 Objevy vzácných plynů.....	33
III. 3 Vlastnosti	34

Vlastnosti helia	35
Vlastnosti radonu	36
III. 4 Výskyt	37
III. 5 Výroba	38
Zkapalnění vzduchu	38
Kapalný vzduch	39
III. 6 Použití	40
III. 7 Sloučeniny vzácných plynů	42
IV. Diskuse	44
IV. 1 Shrnutí provedených rozborů středoškolských učebnic	44
Učebnice chemie	44
Učebnice fyziky	45
Zahraniční učebnice	45
IV. 2 Výukový modul kapitoly Vzácné plyny	46
Základní modul	46
Rozšířený modul	47
Validace vytvořeného modulu	48
V. Závěr	58
Summary	59
VI. Literatura a internetové odkazy	60
VII. Přílohy	63
VII. 1 VZÁCNÉ PLYNY Základní verze	63
VII. 2 VZÁCNÉ PLYNY Rozšířená verze	63

I. Úvod, historie

Během výuky chemie na středních školách se žáci setkají s mnoha pojmy a rovnicemi, pod nimiž si obvykle nedovedou nepředstavit nic konkrétního a chemie se pro ně proto může stát špatně pochopitelná a nudná. Ovšem ne všechny reakce lze ve školní laboratoři uskutečnit, protože mnoho látek a aparatur je pro školu cenově nedostupných nebo je práce s nimi velice nebezpečná, popřípadě se provádí pouze v průmyslovém měřítku nebo ve výzkumné činnosti. Některé z těchto reakcí jsou v literatuře a na internetu zdokumentovány ve formě obrázků a videí, proto je vhodné zařadit do výuky chemie alespoň tyto materiály a pomoci tak žákům k lepšímu a snazšímu pochopení chemických pochodů a dějů [1].

Jedna ze skupin prvků, která je pro školní laboratorní pokusy nedostupná, je skupina vzácných plynů. Tyto prvky vykazují některé fyzikální a chemické jevy, jež jsou odlišné od pro žáky běžně známých dějů a mohou tedy být pro žáky špatně pochopitelné.

Vzácné plyny, dříve pro svoji malou reaktivitu nazývané inertní, tvoří VIII. A skupinu periodické soustavy prvků. Ovšem původní periodická tabulka prvků sestavená roku 1869 D. I. Mendělejevem prvky, které řadíme do skupiny vzácných plynů (tedy He, Ne, Ar, Kr, Xe a Rn), neobsahovala, protože v té době ještě nebyly známy.

Rozšíření periodické soustavy o novou skupinu provedl W. Ramsay [2], který v roce 1895 objevil nový plynný prvek, který doprovázel vzdušný dusík a způsoboval zvýšení jeho hustoty oproti čistému dusíku připravenému z amoniaku asi o 0,5 %. Protože pro nový nereaktivní plynný prvek nebylo v periodické tabulce místo, umístil jej W. Ramsay do nové skupiny a nazval jej argon (z řeckého *argón*, tj. líný, netečný) [2].

Ještě dříve (roku 1868) byla při úplném zatmění Slunce pozorována žlutá spektrální čára, která nepatřila žádnému z tehdy známých prvků. Tento nový prvek pojmenovali J. N. Lockyer a E. Frankland helium (z řeckého *helios*, tj. slunce) [2]. Výskyt helia v plynné formě na Zemi potvrdil roku 1900 W. Ramsay spolu s M. W. Traversem [2] jeho oddělením od neonu. Mezi roky 1895 a 1898 se W. Ramsayovi spolu s M. W. Traversem podařilo oddestilovat ze zkapalněného vzduchu prvky neon (z řeckého *néon*, tj. nový), krypton (z řeckého *kryptón*, tj. skrytý) a xenon (z řeckého *xénon*, tj. cizí) [2].

Poslední prvek, který řadíme k vzácným plynům, je radioaktivní radon (z latinského *radius*, tj. paprsek). Radon objevili roku 1902 E. Rutherford a F. Soddy [2].

Cíl práce

Hlavními cíli této bakalářské práce bylo:

- 1/ Provedení rozboru dostupných středoškolských učebnic chemie a fyziky z hlediska kapitoly Vzácné plyny.
- 2/ Zpracování kapitoly Vzácné plyny, určené pro výuku na středních školách, včetně poznatků o jejich sloučeninách z poslední doby.
- 3/ Shrnutí poznatků souvisejících s využitím helia pro dosahování nízkých teplot.
- 4/ Vytvoření výukového modulu kapitoly Vzácné plyny, včetně prezentace (Microsoft PowerPoint), určeného pro výuku na středních školách.

II. Teoretická část

Teoretická část bakalářské práce je věnována analýze středoškolských učebnic chemie a fyziky z hlediska obsahu informací o vzácných plynech. Dále je do teoretické části zahrnuta kapitola zabývající se sloučeninami vzácných plynů s vazbou Xe-N a kapitola pojednávající o možnostech využití helia pro dosažení velmi nízkých teplot.

V teoretické části jsou doplňující informace psány menší velikostí písma tzv. *petitem*.

II. 1 Učebnice chemie

Ve všech zkoumaných středoškolských učebnicích chemie [3 – 12] nalezneme učivo o prvcích, které řadíme k vzácným plynům, tedy o He – heliu, Ne – neonu, Ar – argonu, Kr – kryptonu, Xe – xenonu a Rn – radonu. Ovšem kapitola Vzácné plyny je v jednotlivých učebnicích zpracována v různém rozsahu. Celkový přehled vybraných středoškolských učebnic chemie včetně jejich obsahů je uveden v tabulce 1.

Objevy vzácných plynů

Informace o objevu vzácných plynů ve většině zkoumaných učebnicích chemie [3 – 5], [7 – 12] nenalezneme. Pouze v [6] je zmíněn objev helia a o objevu ostatních prvků se v této učebnici dozvíme, že za ně byly uděleny dvě Nobelovy ceny – J. W. Rayleighovi za fyziku a W. Ramsayovi za chemii.

Vlastnosti

Z vlastností vzácných plynů je uvedeno plynné skupenství [3 – 12] a velká stabilita, která je vysvětlena pomocí zcela obsazených valenčních orbitalů (helium tvoří dublet, ostatní vzácné plyny oktet) [3 – 12]. Vzácné plyny se vyskytují pouze v atomovém stavu [5 – 7], [9 – 12], neexistuje tedy například molekula He₂. Z vlastností jednotlivých prvků je zmíněna radioaktivita radonu [3 – 7], [10], [11] a supratekutost helia [5], [8], [11].

Výskyt

Výskyt vzácných plynů je vždy uváděn ve vzduchu. Některé učebnice [4], [6], [10] uvádějí i výskyt helia v některých ložiscích zemního plynu, popřípadě helium jako po vodíku druhý nejrozšířenější prvek ve vesmíru [5 – 8], [11], [12].

Výroba

Většina učebnic [3], [4], [5], [7], [8], [10 – 12] uvádí o výrobě vzácných plynů jedinou informaci, a to že jsou získávány ze vzduchu jako vedlejší produkt při výrobě kyslíku a dusíku. Některé učebnice [6], [9] se o výrobě vzácných plynů vůbec nezmiňují a naopak jiné [4], [10] uvádějí i výrobu helia ze zemního plynu.

Použití

V oddíle, který se zabývá použitím vzácných plynů, je nejvíce prostoru věnováno heliu. Jako druhý nejlehčí plyn je používán k plnění balonů [3], [4], [7 – 10], dále jako inertní atmosféra [3 – 5], [8], [11], [12], dále pro dosahování velmi nízkých teplot [3], [5], [7 – 12] a jako náhrada za dusík v dýchacích přístrojích pro potápěče [6], [7], [9]. Neon, argon, krypton a xenon se používají jako náplně žárovek, osvětlovacích trubíc a výbojek [3 – 12]. Argon je také využíván jako inertní atmosféra [3], [6], [7], [9 – 12]. Radon se v silně zředěných roztocích používá v lázeňství [4], [5], [8], [10], [11].

Sloučeniny

Ve většině zkoumaných učebnicích [3 – 8], [10], [11] je v oddíle věnovanému sloučeninám vzácných plynů (Kr, Xe) uvedeno, že v roce 1962 byly připraveny první sloučeniny xenonu a později i kryptonu a radonu. Tyto prvky mohou tvořit sloučeniny pouze s prvky s velkou elektronegativitou, tedy kyslíkem a fluorem [5], [6], [11]. Bližší přehled sloučenin však většinou uveden není pouze v [3] jsou popsány vlastnosti XeO_3 a uvedeny některé reakce sloučenin vzácných plynů.

Přehled obsahu kapitoly Vzácné plyny ve vybraných učebnicích chemie uvádí tabulka 1.

Tabulka 1 Přehled obsahu kapitoly Vzácné plyny ve vybraných učebnicích chemie

	Název učebnice	Vlastnosti	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[3]	Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl (Mareček, Honza, 1998)	Zcela zaplněna valenční sféra (He s orbital, ostatní p orbital), nereaktivní plyny, nízké teploty tání a varu v důsledku van der Waalsových sil, Rn – radioaktivita	V malém množství ve vzduchu, nejvíce je Ar	Frakční destilací zkapalněného vzduchu	He – chladicí médium, inertní atmosféra, plnění balonů, vzducholodí, Ne, Ar, Kr, Xe – plnění žárovek, výbojek, osvětlovacích trubíc, Ar – inertní atmosféra (svařování Al, Mg) a při práci s hořlavinami Rn – dříve k léčbě rakoviny	První sloučeniny připraveny v roce 1962, nejlépe prozkoumány sloučeniny xenonu, XeO ₃ – explozivní (pevný), oxidační činidlo (kapalný), trigonální pyramida, uvedeno i několik reakcí, XeO ₄ , XeF ₂ , XeF ₄ , XeF ₆
[4]	Chemie obecná a anorganická (Šrámek, 2000)	Elektronové konfigurace, procentové zastoupení ve vzduchu, plyny, Rn – radioaktivita	Ve vzduchu (nejvíce Ar), He – některá ložiska zemního plynu	Izolací frakcí při destilaci kapalného vzduchu He – ze zemního plynu	He – plnění balonů, inertní atmosféra, Ne – náplň neonových výbojek, Ar – náplně žárovek, Kr, Xe – plnění speciálních lamp, Rn – lékařství (α -zářič)	1962 připraveny poměrně stálé fluoridy xenonu (XeF ₂ , XeF ₄ , XeF ₆), nemají technický význam

	Název učebnice	Vlastnosti	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[5]	Chemie I (obecná a anorganická) pro gymnázia (Vacík, 1995)	Plyny, atomový charakter, He – dva, ostatní osm valenčních elektronů, netečnost, teploty tání a varu, He – nejnižší teploty tání a varu ze všech známých prvků, pod -270 °C vynikající vodič s malou viskozitou (supravodivost, supratekutost), Rn – vyšší koncentrace ve vzduchu jsou škodlivé	V malém množství součástí vzduchu, He – nejrozšířenější prvek ve vesmíru (ze vzácných plynů)	Vedlejší produkt frakční destilace zkapalněného vzduchu	He – ochranný plyn ve speciálním hutnictví (výroba Ti), ostatní – náplně výbojek, laserů, Rn – léčebné účely (silně zředěné roztoky)	1962 první sloučeniny Xe, později Kr a Rn, s prvky s velkou elektronegativitou, např. XeF ₆ , XeO ₃
[6]	Chemie I (obecná a anorganická) pro gymnázia (Flemer, Dušek, 2001)	Atomový charakter, plyny, stabilní uspořádání valenčních elektronů (He dva, ostatní osm), elektronové konfigurace, zmíněny objevy prvků, Rn – radioaktivita, vyšší koncentrace ve vzduchu jsou škodlivé	0,9 obj. % ve vzduchu, He – ve vesmíru (po vodíku druhý nejrozšířenější prvek), v některých minerálech, v některých ložiscích zemního plynu	Neuvedeno	Ar – inertní atmosféra (při svařování Al, koroziivzdorné oceli), Kr, Ne – náplně zářivek, He – nahradilo dusík v dýchacích přístrojích pro potápěče	1961 N. Barlett – první sloučeniny Xe, He, Ne, Ar – netvoří, Kr, Xe, Rn – pouze sloučeniny s O ₂ a N ₂ , např. XeF ₄ , XeO ₄ , Ba ₂ XeO ₆ , KrF ₂

	Název učebnice	Vlastností	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[7]	Obecná a anorganická chemie – Studijní text pro SPŠCH (Kovalčíková, 2004)	Plyny, atomový charakter, zaplněna valenční sféra, nízká reaktivita, He – po vodíku druhý nejlehčí plyn Rn – radioaktivita	Zemská atmosféra (nejvíce Ar, nejméně Xe a Rn), He – druhý nejrozšířenější prvek ve vesmíru	Vedlejší produkt frakční destilace zkapalněného vzduchu	He – plnění balonů, dosahování nízkých teplot, součást náplně dýchacích přístrojů pro potápěče, Ar – inertní atmosféra při svařování (Al, Mg) a při práci s hořlavinami, Ne, Ar, Kr, Xe – náplně žárovek, výbojek, osvětlovacích trubic Rn – dříve léčba rakoviny	V 60. letech 20. století připraveny první sloučeniny Xe, později i dalších vzácných plynů, konkrétně neuvedeny, pouze řečeno, že nemají praktický význam
[8]	Učebnice středoškolské chemie a biochemie (Peč, Pečová, 2001)	Valenční orbital plně obsazen, stabilní, lehké, těžko zkapalnitelné plyny, nehořlavé, netečné, He – pod -270°C vynikající vodič s malou viskozitou (supravodivost, supratekutost)	Volné, v malém množství ve vzduchu, ve vesmíru je nejvíce (ze vzácných plynů) zastoupeno He	Destilací kapalného vzduchu	He – ochranná atmosféra při výrobě Ti, plnění balonů, Rn – léčebné účely (silně zředěné roztoky), ostatní – náplně osvětlovacích trubic	1962 první sloučeniny Xe, později Kr a Rn, např. XeF ₄ , XeO ₃

	Název učebnice	Vlastnosti	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[9]	Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření (Blažek, Fabini, 2005)	Neslučivé plyny, atomový charakter, elektronová konfigurace ns^2np^6 (He $1s^2$)	Součást vzduchu – nejvíce Ar (necelé 1 obj. %)	Neuvedeno	Plnění žárovek, výbojek, osvětlovacích trubíc, He – plnění balonů, dosahování nízkých teplot, součást náplně dýchacích přístrojů pro potápěče, Ar – inertní atmosféra při svařování (Al, Mg) a při práci s hořlavinami	Pouze uvedeno, že sloučeniny nemají praktický význam
[10]	Chemie pro střední školy (Banýr, Beneš, 1999)	Plyny, atomový charakter, He – dva, ostatní osm valenčních elektronů v konfiguraci ns^2np^6 , netečnost Rn – unikem z hornin (ve kterých se vyskytuje) může ohrožovat životní prostředí	Vzduch – asi jedno objemové procento, nejvíce Ar, ostatní vzácně, He – některá ložiska zemního plynu, Rn – některé horniny a stavební materiály	Vedlejší produkt frakční destilace zkapalněného vzduchu, He – z některých ložisek zemního plynu	He – plnění balonů, dosahování nízkých teplot (supravodivost), ostatní – inertní atmosféra při svařování (Al, Mg), náplně žárovek, výbojek, Rn – léčebné účely (minerální vody)	60. léta 20. století připraveny od Xe a Kr, malý praktický význam, XeF_4 , XeO_3 , H_4XeO_5 , K_4XeO_6

	Název učebnice	Vlastnosti	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[11]	Přehled středoškolské chemie (Vacík, 1999)	Plně obsazená valenční sféra (He – $1s^2$, ostatní ns^2np^6 pro n od 2 do 6), plyny složené z jednotlivých atomů, teploty tání a varu, He – nejnižší teploty tání a varu ze všech známých prvků, pod -270°C vynikající vodič s malou viskozitou (supravodivost, supratekutost), Rn – vyšší koncentrace ve vzduchu jsou škodlivé	V nepatrném množství v atmosféře – objemová procenta – nejvíce Ar, neméně Xe, Rn, ve vesmíru nejvíce He (ze vzácných plynů)	Vedlejší produkt frakční destilace zkapalněného vzduchu	Náplně do výbojek a laserových trubic, He, Ar – speciální hutnictví – ochranná atmosféra (výroba Ti), Rn – léčebné účely (silně zředěné roztoky)	60. léta 20. století připraveny první sloučeniny Xe, později Kr a Rn s prvky s velkou elektronegativitou např. XeF_2 , XeO_4 , H_2XeO_4
[12]	Chemie I. v kostce (Kotlík, Růžičková, 2000)	Málo reaktivní, stabilní elektronová konfigurace (He $1s^2$, ostatní ns^2np^6), jednoatomové molekuly, He, Ne – netvoří excitovaný stav, těžko zkapalnitelné (nízké teploty tání)	V atmosféře – nejvíce Ar, neméně Xe, Rn (objemová procenta), ve vesmíru nejvíce He (atmosféra Slunce)	Vedlejší produkt frakční destilace zkapalněného vzduchu	Plnění výbojek, osvětlovacích trubic, He – dosažení nízkých teplot (varem kapalného He – teplota kolem $0,003\text{ K}$), Ar, He – inertní atmosféra při svařování (Al, Mg)	Nejvíce Xe – v ox. číslech: II, IV, VI, VIII, např. XeF_4 , XeO_3 , Na_4XeO_6 , XeF_2 , XeF_6

II. 2 Učebnice fyziky

Vzácné plyny

Spojitosť se vzácnými plyny nalézáme ve středoškolských učebnicích fyziky v kapitolách pojednávajících o radioaktivitě a jaderných reakcích [15], [17], [20] a dějích na Slunci [21], [22]. V [20] je vysvětlen princip a použití helium – neonového laseru.

Významnými vlastnostmi vzácných plynů souvisejícími s fyzikou jsou supratekutost a supravodivost helia, tedy prakticky nulové vnitřní tření a nulový (neměřitelný) elektrický odpor kapalného helia při teplotách nižších než 2,17 K. Danou tematiku lze zařadit k tématu mechaniky tekutin, popřípadě k tématu vodivost a odpor. Avšak ze všech zkoumaných středoškolských učebnic fyziky [13 – 21] nalezneme pouze v [14] obecné vysvětlení supravodivosti.

Souvinnost s fyzikou má i výroba vzácných plynů (frakční destilace je pochod fyzikální). Výrobu vzácných plynů lze zařadit do kapitoly pojednávající o termodynamických zákonech ideálního plynu popřípadě do kapitoly zabývající se skupenskými přeměnami. V žádné ze zkoumaných učebnic fyziky [13 – 21] se s výrobou vzácných plynů explicitně nesetkáme, ale v některých [14], [16], [19] nalezneme následující informace, které jsou pro pochopení tohoto procesu nezbytné.

Zkapalňování plynů

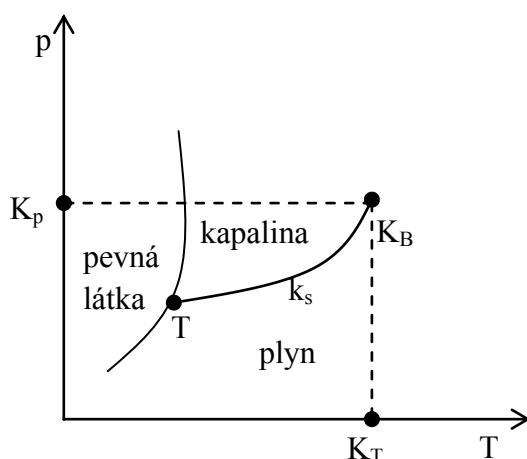
Tato kapitola je zpracována pouze v některých učebnicích [14], [16], [19] (viz tab. 2) a obsahuje níže uvedené informace.

Každý plyn lze zkapalnit, pokud jeho teplota a tlak nabývají nižších než kritických hodnot. **Kritická teplota** je nejvyšší teplota, při níž lze ještě dostatečným stlačením plynu docílit jeho zkapalnění. Tlak potřebný ke zkapalnění plynu při kritické teplotě se nazývá **kritický tlak**. Viz obr. 1.

Závislost tlaku na teplotě při zkapalňování plynu lze vyjádřit pomocí **křivky sytých par (k_s)** fázového diagramu jednosložkové soustavy (obr. 1). Body této křivky představují hodnoty teploty a tlaku, při kterých v soustavě rovnovážně koexistuje kapalina i plyn. Tato rovnováha se ustaví, pokud v soustavě při stlačování plynu po vytvoření prvních podílů kapaliny zajistíme konstantní teplotu. Následným zvýšením tlaku dosáhneme zkapalnění plynu. Křivka sytých par začíná trojným bodem a je

ukončena kritickým bodem. **Trojný bod** určuje hodnoty teploty a tlaku, při nichž současně koexistuje pevná, kapalná i plynná fáze. **Kritický bod** reprezentuje kritickou teplotu a kritický tlak (nad kritickou teplotou nelze plyn zkapalnit sebevětším tlakem) [22].

Obr. 1 Fázový diagram jednosložkové soustavy



Popis:

K_B – kritický bod,
 K_T – kritická teplota,
 K_p – kritický tlak,
 T – trojný bod,
 k_s – křivka sytých par

Metody zkapalňování plynů

Ve zkoumaných učebnicích [14], [16], [19] (viz tab. 2) jsou uvedeny následující tři metody zkapalnění:

1. Pomocí adiabatické expanze. Za předpokladu, že nedochází k výměně tepla Q s okolím ($Q = \text{konst}$, tedy $\Delta Q = 0$), plyne z 1. termodynamického zákona následující rovnost:

$$(\Delta Q = \Delta U + \Delta A),$$

$$\Delta A = - \Delta U,$$

kde ΔQ je změna tepla, ΔU je změna vnitřní energie a ΔA je změna práce. Při náhlém zvětšení objemu plynu se plyn ochladí, protože koná práci A na úkor své vnitřní energie U a platí, že

$$\Delta U = - c_v \Delta T,$$

kde c_v je pro danou látku konstanta nazývaná měrné teplo při stálém objemu a ΔT je změna teploty.

2. Využitím Joulova – Thomsonova efektu, tedy stlačením plynu a jeho následnou adiabatickou expanzí. Z rovnice Joulova – Thomsonova jevu:

$$\frac{\Delta T}{\Delta p} = \frac{1}{c_p} \left(\frac{2a}{RT} - b \right),$$

(kde ΔT je změna teploty, Δp je změna tlaku, c_p je měrné teplo při stálém tlaku, a , b jsou konstanty z van der Waalovy rovnice a R je univerzální plynová konstanta) plyne, že pokud bude plyn zahřátý nad určitou teplotu T_i , kterou nazýváme *inverzní teplota Joulova – Thomsonova jevu* ($T_i = \frac{2a}{Rb}$), dojde jeho adiabatickou expanzí nikoliv k ochlazení, ale k zahřátí. To ale za běžných podmínek nastává pouze pro vodík a helium.

3. Varem za sníženého tlaku některých zkapalněných plynů (Cl_2 , SO_2 , H_2S , NH_3 a dalších). Při vypařování kapalin dochází k jejich ochlazení. Pokles teploty je ale okamžitě kompenzován teplem, které kapalina odebírá svému okolí. Molárním výparným teplem dané kapaliny za konstantního tlaku pak rozumíme teplo, které musí kapalina z okolí přijmout, aby došlo k přeměně jednoho molu kapaliny v jeden mol plynu beze změny teploty soustavy, ve které k vypařování dochází. Velikost molárního výparného tepla je pro danou látku za konstantní teploty a tlaku až na znaménko rovna velikosti molárního kondenzačního tepla, kterým je popisován opačný děj. Umístíme-li do okolí vypařující se kapaliny plyn, jehož molární kondenzační teplo je pro danou teplotu a tlak menší, než molární výparné teplo vypařující se kapaliny, dojde k jeho ochlazení a kondenzaci [22].

Přehled zkoumaných informací v učebnicích fyziky pro střední školy uvádí tabulka 2.

Tabulka 2 Přehled zkoumaných informací v učebnicích fyziky pro střední školy

	Název učebnice	Vzácné plyny	Zkapalňování plynů	Dosahování nízkých teplot
[13]	Fyzika pro I. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (Marek, 1966)	Supratekutost neuvedena	Není obsahem této učebnice	Není obsahem této učebnice
[14]	Fyzika pro II. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (Vanovič, 1965)	Obecně vysvětlena supravodivost	Fázový diagram, schéma a popis Lindèho způsobu zkapalnění vzduchu, permanентní plyny	Adiabatické expanze, využitím Joulova- Thomsonova efektu, varem za sníženého tlaku
[15]	Fyzika pro III. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (Fuka, 1975)	Xe a Kr – členové rozpádových řad při štěpení jader uranu, využití α -záření (jader He) k objevu protonu a neutronu	Není obsahem této učebnice	Není obsahem této učebnice
[16]	Fyzika pro střední školy I. (Lepil, 1993)	Supratekutost neuvedena	Neuvedeno	Pomocí adiabatické expanze
[17]	Fyzika pro střední školy II. (Lepil, 2001)	Xe a Kr – členové rozpádových řad při štěpení jader uranu, jádra He – α -zářič, sléváním jader vodíku na Slunci vzniká He, supravodivost neuvedena	Není obsahem této učebnice	Není obsahem této učebnice

	Název učebnice	Vzácné plyny	Zkapalňování plynů	Dosahování nízkých teplot
[18]	Fyzika pro gymnázia Mechanika (Bednařík, Šíroká, 2004)	Supravodivost ani supravodivost neuvedeny	Není obsahem této učebnice	Není obsahem této učebnice
[19]	Fyzika pro gymnázia Molekulová fyzika a termika (Bartuška, Svoboda, 2005)	Supravodivost ani supravodivost neuvedeny	Fázový diagram, zkapalnění plynu – adiabatickou expanzí plynu, ochlazení pod kritickou teplotu	Adiabatická expanze, var za sníženého tlaku
[20]	Fyzika pro gymnázia Fyzika mikrosvěta (Štoll, 2005)	Princip a použití He – Ne laseru, He α -zářič, produkt fúze jader vodíku, Xe a Kr – členové rozpadových řad při štěpení jader uranu	Není obsahem této učebnice	Není obsahem této učebnice
[21]	Fyzika pro gymnázia Astrofyzika (Macháček, 2004)	Sléváním jader vodíku na Slunci vzniká He	Není obsahem této učebnice	Není obsahem této učebnice

Pozn.: Učivo fyziky je rozloženo do několika tematických celků, které jsou zpracovány vždy v jedné řadě učebnic [13 – 15], [16 – 17] a [18 – 21], jež na sebe obsahově navazují. Proto jsou v tabulce 2 rozlišena sdělení „Neuvedeno“ a „Není obsahem této učebnice“. Položka „Neuvedeno“ sděluje, že zkoumaná problematika se shoduje s náplní učebnice, ale že v této učebnici uvedená není. Položka „Není obsahem této učebnice“ konstatuje, že se učebnice zabývá jiným tematickým celkem a proto v ní zkoumaná informace uvedena být nemůže.

II. 3 Zahraniční učebnice

K porovnání rozsahu a obsahu výuky kapitoly Vzácné plyny v České Republice a v zahraničí byly použity vybrané učebnice chemie běžně užívané při výuce chemie na zahraničních školách, které úrovní vzdělání odpovídají českým středním školám.

Chemie 1a pro střední školy [23]

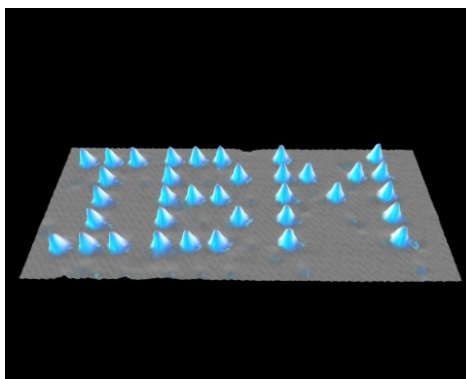
Kapitola Vzácné plyny je zpracována v obdobném rozsahu jako v ostatních českých středoškolských učebnicích chemie (jedná se o překlad německé učebnice schválený MŠMT ČR). Oproti středoškolským učebnicím chemie napsaných v ČR zde nalezneme některé rozšiřující informace; například je zde uveden popis zkapalnění vzduchu Lindého způsobem, včetně schématického nákresu. Dozvíme se také, jakou barvou světla svítí zářivky obsahující jako náplň vzácný plyn. Text je doplněn o ilustrující obrázky a fotografie.

Chemistry in context 6th Edition [24]

Kapitola Vzácné plyny je v této anglické učebnici zpracována velmi stručně. Obsahuje informace o valenční sféře, o inertnosti vzácných plynů do roku 1962, kdy byly připraveny první sloučeniny, a o existenci oxidů a fluoridů xenonu a kryptonu. V dalších kapitolách nalezneme o vzácných plynech několik zajímavostí z poslední doby, které jsou uvedeny níže.

V roce 1990 zaváděli dva vědci společnosti IBM xenon na povrch niklu při teplotě $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pomocí řádkovacího tunelového mikroskopu vytvořili na povrchu niklu z bublin tvořených jednotlivými atomy xenonu logo IBM (viz obr. 2).

Obr. 2 IBM logo [25]



První sloučeninu vzácných plynů připravil v roce 1962 Neil Bartlett. Při reakci PtF_6 se vzdušným kyslíkem, za vzniku $\text{O}_2^+ \text{PtF}_6^-$, si uvědomil, že ionizační energie kyslíku ($+1175 \text{ kJmol}^{-1}$) je velice podobná ionizační energii xenonu ($+1170 \text{ kJmol}^{-1}$) a napadlo ho, jestli není možné obdobně připravit i sloučeninu $\text{Xe}^+ \text{PtF}_6^-$. Po několika dnech opravdu získal pevnou žluto-oranžovou sloučeninu o složení XePtF_6 .

Chemie für die Sekundarstufe I, Länderausgabe Band 1 [26]

Kapitola Vzácne plyny je v této německé učebnici zpracována jako ucelený text. Oproti českým učebnicím zde nenalezneme ani základní poznatky o sloučeninách a hlavní pozornost zde není věnovaná heliu (chybí pojmy supratekutost, supravodivost), ale radonu.

Dozvídáme se, že při ochlazení radonu na -17°C se zbarví do žluta a při ochlazení na -200°C do oranžova. Dále je zde uvedeno, že radon má ze všech vzácných plynů největší hustotu, která je přibližně 110krát větší než hustota vodíku, 7,5krát větší než hustota vzduchu a hustota kapalného radonu je asi 4krát větší než hustota vody. Radon je obsažen v některých minerálních vodách (nejvíce ho je v Hot Springs v Arkansasu v USA), v malém množství také vzniká při reakcích v jaderných reaktorech. Text je doplněn o ilustrativní fotografie.

Chemie 1 für die Oberstufe [27]

Samostatnou kapitolu Vzácne plyny v této rakouské učebnici nenalezneme, ale některé informace o vzácných plynech jsou zmíněny v ostatních kapitolách.

V kapitole o zastoupení prvků ve vesmíru a na Zemi se dozvíme, že helium je druhý nejrozšířenější prvek ve vesmíru vznikající např. sléváním jader vodíku na Slunci.

V kapitole věnované elektronovým konfiguracím jsou vzácne plyny použity ke zkrácenému zápisu elektronových konfigurací a v kapitole věnované prostorovému uspořádání molekul je znázorněna sloučenina XeOF_4 v teorii VSEPR.

Kapitola o ionizační energii vysvětluje malou reaktivitu vzácných plynů, jejich velkou ionizační energií (platí, že s rostoucí ionizační energií klesá reaktivita).

V kapitole „Prvky 5. hlavní skupiny“ je využito porovnání ionizačních energií molekuly dusíku (1506 kJmol^{-1}) s atomárním argonem (1523 kJmol^{-1}) k objasnění malé reaktivity molekulárního dusíku a možnosti využít dusík k plnění klasických žárovek místo dražšího argonu.

Přehled obsahu kapitoly Vzácné plyny ve zkoumaných zahraničních učebnicích chemie uvádí tabulka 3.

Tabulka 3 Přehled obsahu kapitoly Vzácné plyny ve zkoumaných zahraničních učebnicích chemie

	Název učebnice	Vlastnosti	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[23]	Chemie 1a pro střední školy (Eisner, 1996; překlad německé učebnice)	Bezbarvé, bez zápachu, nehořlavé, atomový charakter, atomové hmotnosti, teploty varu, hustoty, obsah ve vzduchu, barvy zářivek obsahující vzácný plyn, objeveny 1894 – 1898	Ve vzduchu	Oddestilováním ze zkapalněného vzduchu (princip zkapalnění podle Lindého)	Ochranná atmosféra (proti oxidaci kovů a při svařování), zářivky, He – náplň vzducholodí	Konkrétně neuvedeny, může tvořit Xe a Kr
[24]	Chemistry in context 6th Edition (Hill, Holman, 2011; anglická učebnice)	Plně zaplněna valenční sféra, málo reaktivní, Ne, Ar – teploty tání, teploty varu a elektronové konfigurace, He – emisní spektrální vlastnosti	Neuvedeno	Neuvedeno	Neuvedeno	Neil Bartlett (1962) – první sloučenina XePtF ₆ , sloučeniny tvoří pouze Xe a Kr s F ₂ a O ₂

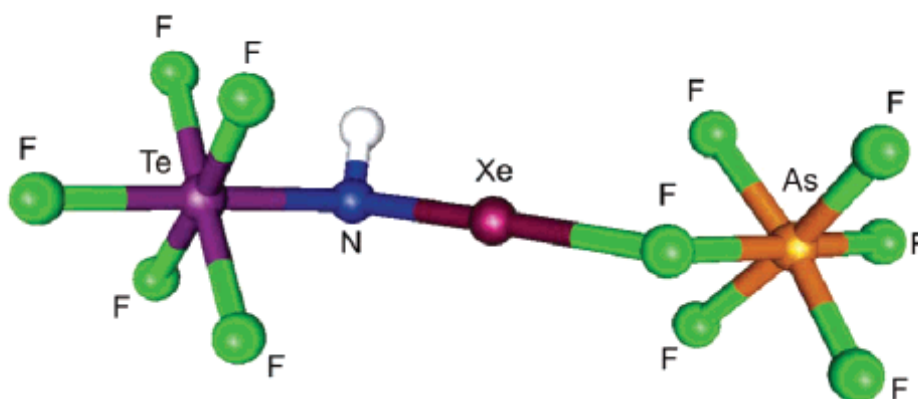
	Název učebnice	Vlastnosti	Výskyt	Výroba	Použití	Sloučeniny
[26]	Chemie für die Sekundarstufe I, Länderausgabe Band 1 (Geiger, 1991; německá učebnice)	Malá reaktivnost, atomový charakter, atomové hmotnosti, zastoupení ve vzduchu, teploty varu, Rn – radioaktivita	V malém množství ve vzduchu, He – druhý nejrozšířenější prvek ve vesmíru, Rn – pramenité vody, v jaderných reaktorech	Destilací zkapalněného vzduchu	He – náplně balonů, vzducholodí, Ne – osvětlovací trubice, Ar, Kr, Xe – žárovky, výbojky	Za běžných podmínek netvoří sloučeniny
[27]	Chemie 1 für die Oberstufe (Januschewsky, Jarisch, 1989; rakouská učebnice)	Velká ionizační energie a tedy malá reaktivita	He – spolu s H ₂ nejrozšířenějším ve vesmíru, sopečné plyny	Neuvedeno	Ar – náplň osvětlovacích trubic	Pouze znázornění XeOF ₄ v teorii VSEPR

II. 4 Nově připravené sloučeniny Xe z poslední doby

Kromě uváděných sloučenin vzácných plynů s vazbami Xe-F, Xe-O byly v poslední době v odborné časopisecké literatuře publikovány i sloučeniny s vazbami Xe-N. Tyto sloučeniny byly připraveny v letech 2006 – 2008 na McMaster University, Hamilton v Ontariu.

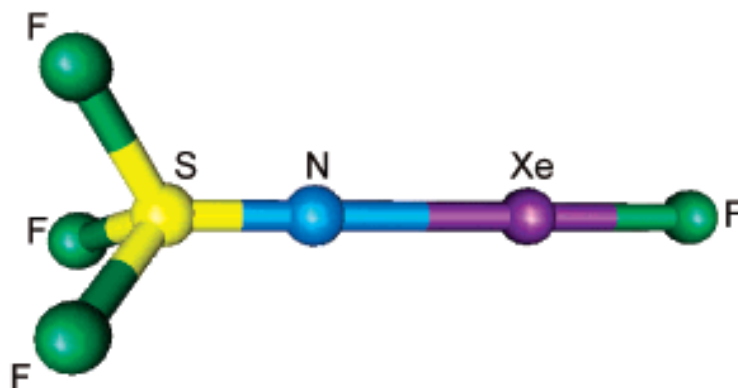
Sloučenina $[\text{F}_5\text{TeN(H)Xe}][\text{AsF}_6]$ byla připravena reakcí $[\text{F}_5\text{TeNH}_3][\text{AsF}_6]$ s XeF_2 . Vytváří oranžovou sůl.

Obr. 3 Prostorové uspořádání $[\text{F}_5\text{TeN(H)Xe}][\text{AsF}_6]$ [28]



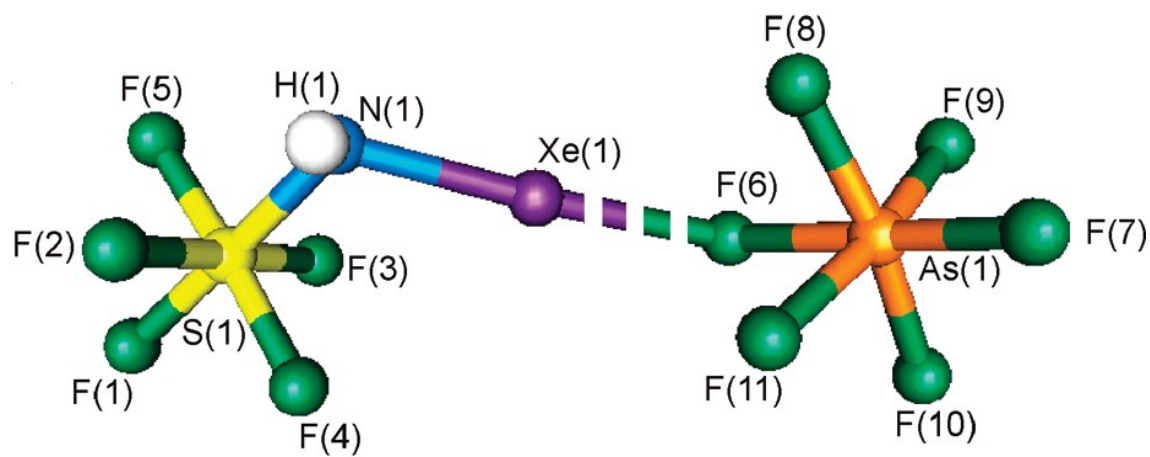
Sloučenina $[\text{F}_3\text{S}\equiv\text{NXeF}][\text{AsF}_6]$ je produktem reakce $[\text{XeF}][\text{AsF}_6]$ s $\text{N}\equiv\text{SF}_3$, při teplotě $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

Obr. 4 Prostorové uspořádání kationtu $\text{F}_3\text{S}\equiv\text{NXeF}^+$ [29]



Sloučenina $[\text{F}_5\text{SN}(\text{H})\text{Xe}][\text{AsF}_6]$ vzniká při reakci $[\text{F}_5\text{SNH}_3][\text{AsF}_6]$ s XeF_2 .

Obr. 5 Prostorové uspořádání $[\text{F}_5\text{SN}(\text{H})\text{Xe}][\text{AsF}_6]$ [30]



II. 5 Využití helia pro dosahování nízkých teplot

Odvětví fyziky zabývající se dosahováním nízkých teplot se nazývá kryogenika. K samotnému ochlazení látek na nízké teploty se nejčastěji využívá chlazení pomocí zkapalněných plynů; nižších teplot lze dosáhnout odčerpáváním par vznikajících nad hladinou zkapalněného plynu.

Vývoj chladících médií

Většinu běžných plynů (Cl_2 , NH_3 , CO_2 , apod.) zkapalnil v polovině 19. století M. Faraday. Některé plyny jako např. H_2 , O_2 , N_2 se Faradayovi zkapalnit nepodařilo a proto je označil jako tzv. **permanентní plyny**. Po svém objevu bylo do této skupiny zařazeno také He. „Nezkapalnitelnost“ těchto plynů vysvětlil roku 1869 T. Andrews pomocí kritické teploty. U těchto plynů je kritická teplota mnohem nižší než teploty, při nichž byly konány pokusy o jejich zkapalnění. Nejnižší tehdy dosažitelná teplota byla cca $-110\text{ }^\circ\text{C}$, tedy 163 K [31].

Kyslík zkapalnili v roce 1877 nezávisle na sobě J. P. Cailletet a R. P. Pictet. Cailletet stlačil směs kyslíku a oxidu uhličitého na 30 MPa a pomocí kapalného oxidu siřičitého ji ochladil na $-29\text{ }^\circ\text{C}$. Následnou expanzí došlo ke zkapalnění kyslíku. Pictet dosáhl ochlazení kyslíku využitím tzv. kaskádního principu. Kyslík byl ochlazován v uzavřeném cyklu pomocí odčerpávání par nad kapalným oxidem siřičitým (teplota varu je $-65\text{ }^\circ\text{C}$) a pevným oxidem uhličitým (teplota varu je $-140\text{ }^\circ\text{C}$). Následným stlačením na 32 MPa a expanzí stlačeného plynu, došlo k jeho zkapalnění. Oba objevitelé tedy využili Joulova-Thomsonova jevu. Zkapalněným kyslíkem je možné dosáhnout teploty asi **90 K** ($-182\text{ }^\circ\text{C}$) [31].

Dusík zkapalnili Z. Wróblewski a K. Olszewski v Krakově roku 1883. Ke zkapalnění použili Cailletetovu aparaturu, u které zlepšili tepelnou izolaci a k chlazení využili kapalným etylen (teplota varu je $-103,8\text{ }^\circ\text{C}$). Dusíkem lze látku ochladit na cca **77 K** ($-196\text{ }^\circ\text{C}$) [31].

Vodík zkapalnil roku 1898 J. Dewar využitím vakuové tepelné izolace. Kapalným vodíkem lze dosáhnout teploty okolo **20 K** ($-253\text{ }^\circ\text{C}$) [31].

Helium jako poslední plyn zkapalnil v roce 1908 H. Kammerling Onnes stlačením na 10 MPa a ochlazením pomocí vroucího vodíku. Teplota dosažitelná kapalným

heliem, přesněji izotopem ^4He , je asi **4,2 K** (-269 °C). Kapalným izotopem helia ^3He lze dosáhnout teploty cca **3,2 K** (-270 °C) [31].

Teplot pod 1K lze dosáhnout rozpouštěním izotopu helia ^3He v ^4He , čímž dojde k absorpci tepla, podobně jako u odpařování kapaliny. Tuto metodu popsal L. D. Landau v roce 1951. Nejnižší teplota získaná tímto postupem je 2 mK [31].

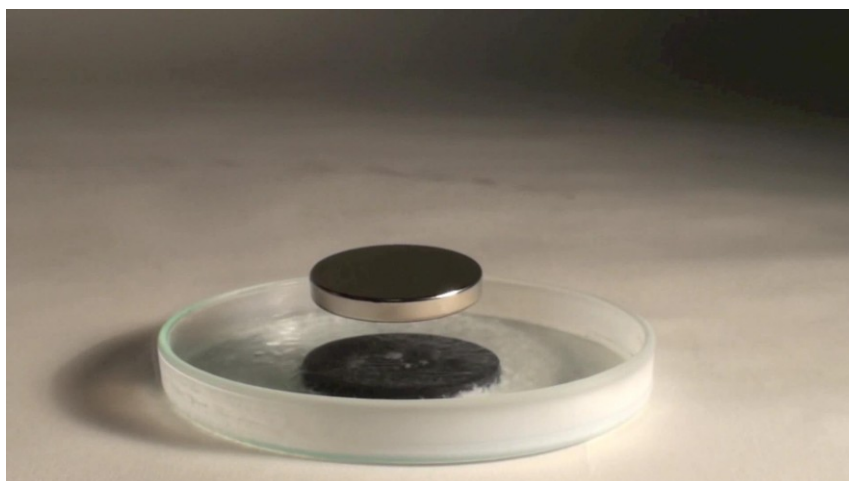
Ještě nižších teplot lze dosáhnout pomocí adiabatické a jaderné demagnetizace, které využívají poklesu entropie paramagnetických látek při konstantní teplotě po vložení do magnetického pole. Při adiabatické demagnetizaci jsou k chlazení používány paramagnetické soli, například kamenec chromito-draselný. Jaderná demagnetizace využívá nejčastěji atomů mědi. Touto metodou lze dosáhnout teplot řádově v desítkách μK [31].

Supravodivost

Supravodivost je schopnost látek, ochlazených na velmi nízké teploty (řádově jednotky až desetiny K), vést elektrický proud bez měřitelného odporu. Tuto vlastnost objevil a pojmenoval v roce 1911 H. Kammerling Onnes, při zkoumání platnosti Ohmova zákona pro rtuť [32].

Rozlišujeme supravodiče prvního a druhého druhu. Supravodiče 1. druhu jsou ideálně diamagnetické a vykazují schopnost vytlačit ze svého objemu siločáry magnetického pole, a tím je zdeformovat. Tato vlastnost se nazývá **Meissnerův-Ochsenfeldův jev**. Projevuje se levitací magnetu umístěného za nízké teploty v poli supravodiče (viz obr. 6). Mezi supravodiče 1. druhu řadíme například olovo (při teplotě 7,2 K), cín (při 3,7 K) a indium (při 3,4 K) [33].

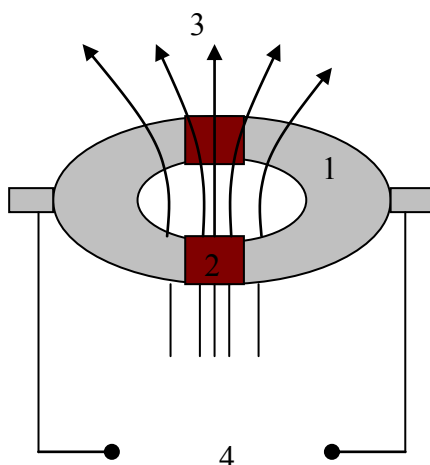
Obr. 6 Levitace magnetu v poli supravodiče [34]



Supravodiče 2. druhu vykazují smíšený stav (vzhledem k interakci s magnetickým polem), magnetické pole do nich proniká. Teplota potřebná k převodu těchto látek do supravodivého stavu je o něco vyšší než u supravodičů 1. druhu. Supravodiče druhého druhu jsou především intermetalické fáze kovů (například Nb₃Ge při 23,2 K, Nb₃Sn při 18,05 K, V₃Ga při 16,5 K) [33].

Spojením dvou supravodičů pomocí nesupravodiče (kov, oxidační vrstva, apod.) dochází k tzv. **Josephsonovu jevu**. Tento jev popisuje slabou supravodivost, která vzniká v mezeře mezi supravodiči (viz obr. 7) a je charakterizována velmi malým kritickým proudem, čehož se využívá k měření velmi slabých magnetických polí (řádově 10⁻¹⁴ T). Samotné měření je pro svou vysokou citlivost rušeno vlivem gravitační síly; její působení se eliminuje použitím tzv. SQUIDu (superconducting quantum interference device) [33].

Obr. 7 Slabá supravodivost



Popis: 1 – dva supravodiče, 2 – nesupravodič, 3 – siločáry magnetického pole,
4 – měření indukce magnetického pole

Využití supravodivosti

Magnetokardiografie (MCG) a **magnetoencefalografie** (MEG) zkoumají s využitím Josephsonova jevu magnetické pole srdce a mozku. Obě metody vyžadují chlazení kapalným heliem.

Obr. 8 Magnetokardiograf (MCG) [35] a magnetoencefalograf (MEG) [36]



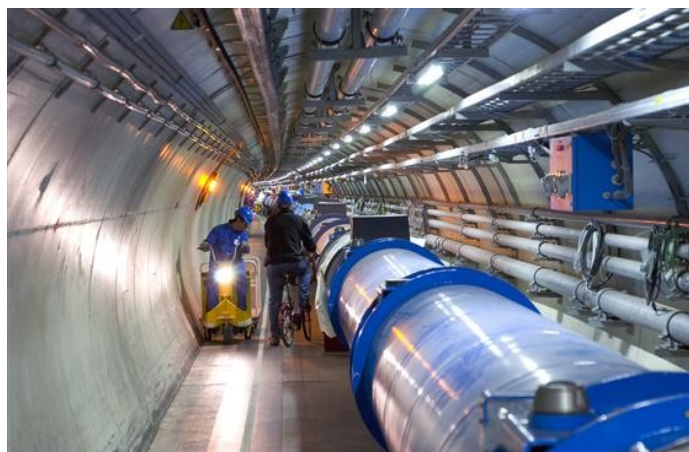
MCG



MEG

Urychlovač částic LHC – **Large Hadron Collider**, který k chlazení supravodivých slitin niobu a titanu využívá supratekuté helium, je největším urychlovačem částic na světě. Je umístěn v 27 km dlouhém kruhovém tunelu ve výzkumném středisku CERN u Ženevy na hranicích Francie a Švýcarska. Tento tunel se nachází v podzemí v hloubce od 50 do 150 metrů.

Obr. 9 Urychlovač částic v CERNu [37]



Rezonanční tomografie (MRI) využívá chlazení pomocí kapalného helia a dusíku a umožňuje vytvořit snímky lidské tkáně. Na rozdíl od rentgenu není člověk vystaven působení škodlivého záření.

Obr. 10 Rezonanční tomograf (MRI)



Rezonanční tomograf [38]



Snímek z MRI [39]

Levitační vlaky využívají Meissnerova-Ochsenfeldova jevu. Místo kol a kolejí používají supravodivé magnety a pohybují se pomocí lineárního motoru.

Obr. 11 Levitační vlak v Šanghaji [40]



III. Praktická část

Praktickou částí předkládané bakalářské práce bylo vytvoření výukového modulu kapitoly Vzácné plyny určeného pro výuku na středních školách. Tento modul zahrnuje učební text a dvě úrovně prezentace (Microsoft PowerPoint) kapitoly Vzácné plyny (viz příložené DVD), které jsou určené pro samotnou výuku.

Podobně jako v teoretické části je i v praktické části bakalářské práce pro doplňující informace využito menší velikosti písma.

III. 1 Vzácné plyny – úvod

Mezi vzácné plyny řadíme He – **helium** (z řec. *helios*, tj. *slunce*), Ne – **neon** (z řec. *néon*, tj. *nový*), Ar – **argon** (z řec. *argón*, tj. *líný, netečný*), Kr – **krypton** (z řec. *kryptón*, tj. *skrytý*), Xe – **xenon** (z řec. *xénon*, tj. *cizí*) a Rn – **radon** (z latin. *radius*, tj. *paprsek*). Tyto prvky tvořící VIII. A skupinu periodické soustavy prvků byly do roku 1962 považovány za zcela neslučivé a vžilo se pro ně označení se *inertní (netečné) plyny*. Roku 1962 připravil N. Bartlett [2] první sloučeninu vzácných plynů, a to XePtF₆. Následně byly publikovány i další sloučeniny především xenonu s fluorem a kyslíkem (dále viz III. 7). Pojmenování VIII. A skupiny, jako inertní plyny bylo již nepřesné a celá skupina se přejmenovala na *vzácné plyny*¹.

1/ Pozn.: Název vzácné plyny, není zcela přesný, protože nevyjadřuje vzácnost ve smyslu vzácnosti výskytu prvků VIII. A skupiny (tvoří asi 1 obj. % zemské atmosféry). Proto je v současné anglické literatuře nejužívanějším termínem „noble gases“ – doslovně „ušlechtilé plyny“.

III. 2 Objevy vzácných plynů

Jako první bylo roku 1868 při úplném zatmění Slunce objeveno helium, které bylo pozorováno jako žlutá spektrální čára, jež nepatřila žádnému z dosud známých prvků. Protože se tento prvek vyskytoval na Slunci, pojmenovali jej J. N. Lockyer a E. Frankland [2] helium.

Výskyt helia na Zemi potvrdil W. Ramsay [2], který helium izoloval jako plyn vznikající při radioaktivní přeměně uranových minerálů (smolince).

V letech 1895 – 1898 W. Ramsay [2] se svými spolupracovníky oddělil frakční destilací ze zkapalněného vzduchu argon, krypton, neon a xenon.

Jako první z těchto prvků byl na Zemi objeven argon. O jeho objev se zasloužili W. Ramsay spolu s lordem Rayleighem, za což získali v roce 1904 Nobelovu cenu. Lord Rayleigh zjistil, že dusík získaný ze vzduchu má oproti dusíku připravenému laboratorně větší hustotu. To vedlo W. Ramsaye k pokusu, při kterém nechal reagovat vzdušný dusík s hořčíkem. Produktem této reakce byl nitrid hořečnatý (Mg_3N_2). Po reakci zůstalo malé množství nezreagovaného plynu, který W. Ramsay identifikoval jako nový plyn s větší hustotou než dusík a pro jeho neochotu k reakci jej nazval argon [2].

Poslední z prvků, patřících do VIII. A skupiny, je radioaktivní radon, který roku 1902 objevili E. Rutherford a F. Soddy [2].

III. 3 Vlastnosti

Elektronová konfigurace helia je $1s^2$, u ostatních vzácných plynů jsou elektronové konfigurace $ns^2 np^6$. Vzácné plyny mají tedy zcela zaplněnou valenční sféru, což je důvodem jejich malé reaktivity. Jednotlivé prvky se neslučují ani mezi sebou a vyskytují se ve formě volných atomů. Za normálních podmínek (atmosférický tlak, 297 K) se jedná o plyny, které jsou bezbarvé, bez chuti a bez zápachu. Tyto plyny jsou lehké a mají nízké teploty tání a varu (viz tab. 4), což je důvod jejich špatné zkapalnitelnosti.

Tabulka 4 Teploty tání a varu a hustoty vzácných plynů při atmosférickém tlaku [2]

Plyn	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
Teplota varu (K)	4,2	27,1	87,3	119,7	165,0	211,0
Teplota varu (°C)	- 269,0	- 246,1	- 185,9	- 153,5	- 108,2	- 62,2
Teplota tání (K)	-	24,5	83,8	115,9	161,0	202,0
Teplota tání (°C)	-	- 248,7	- 189,4	- 157,3	- 112,2	- 71,2
Hustota (kg/m^3)	0,178	0,900	1,784	3,749	5,897	9,730

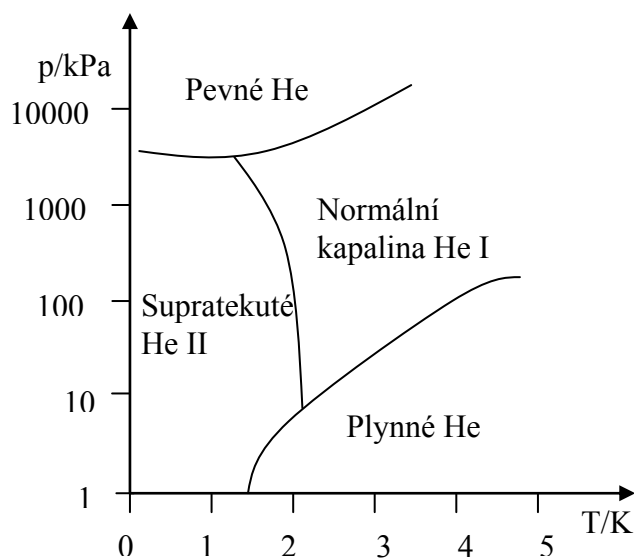
Pozn.: hustota je uvedena za standardních podmínek

Kromě výše uvedených společných vlastností vzácných plynů mají helium a radon některé další (speciální) vlastnosti, se kterými se u ostatní prvků nesetkáme.

Vlastnosti helia

Helium má ze všech prvků nejnižší teplotu varu (4,2 K) a jako jediný prvek jej nelze převést z kapalně fáze do pevné pouhým ochlazením. Z fázového diagramu helia (viz obr. 12) plyne, že k tomuto fázovému přechodu je nutné použít zvýšeného tlaku. Helium nemá trojný bod, tedy při žádné hodnotě tlaku a teploty nenastane rovnováha mezi pevným, kapalným a plynným heliem. Další zvláštností helia je existence rovnováhy mezi dvěma kapalnými fázemi, která se za atmosférického tlaku ustavuje při teplotě 2,17 K. Tyto kapalně fáze se označují jako He I a He II, přičemž He I je „normální“ kapalinou, ale He II je tzv. supratekuté [41].

Obr. 12 Fázový diagram helia



Supratekutost helia objevil v roce 1937 ruský fyzik J. L. Kapica [42]. Tato vlastnost se projevuje mimo jiné schopností He II protékat úzkými kapilárami o průměru 0,5 μm bez měřitelného odporu. Viskozita supratekutého helia se tedy blíží k nule.

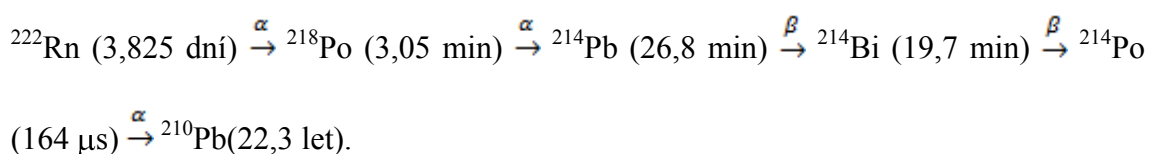
He II vykazuje také mimořádně dobrou elektrickou vodivost (vede proud bez měřitelného odporu); tato vlastnost se označuje jako **supravodivost** a o její objev se zasloužil holandský fyzik Keesom [42].

Další pozoruhodnou vlastností supratekutého helia je schopnost vytvářet velmi tenké filmy atomů, které se mohou pohybovat zdánlivě bez tření a jimiž se pokrývají předměty, které jsou do supratekutého helia ponořené. Umístíme-li tedy do supratekutého helia prázdnou nádobku, budeme pozorovat, že helium poteče „do kopce“, a to dokud se hladiny v obou nádobách nevyrovnají.

Na základě Kapicových experimentů vytvořil L. D. Landau teorii supratekutosti helia, která předpokládá, že He II se skládá ze dvou složek – supratekutého helia a normální kapaliny. Tuto teorii experimentálně potvrdili E. L. Andronikašvili a další Kapicovi žáci [43].

Vlastnosti radonu

Radon vytváří řadu izotopů, přičemž všechny jsou radioaktivními α zářiči a vykazují krátký poločas rozpadu. Izotop s nejdelším poločasem rozpadu je ^{222}Rn , jehož poločas rozpadu je 3,825 dní. Radon se může uvolňovat z hornin, kde vzniká radioaktivní přeměnou ^{238}U . Radon se dále rozpadá za vzniku izotopů polonia, olova a bismutu:



Vdechování radonu způsobuje rakovinu plic. Proto je nutné sledovat jeho koncentraci v uzavřených a nedostatečně odvětraných budovách, ve kterých dochází k pravidelnému pobytu obyvatel (rodinné domy, byty, školy, školky, kanceláře a podobně). Pokud je radon součástí hornin, jež tvoří podlaží takových to budov, dochází (v důsledku špatného odvětrání budovy) ke zvýšení koncentrace radonu v budově a ke zvýšenému riziku vzniku rakoviny plic v důsledku jeho vdechování.

Měření koncentrace radonu se provádí pomocí tzv. stopových detektorů (slouží ke zjištění průměrné roční koncentrace radonu) a elektretových dozimetřů (používají se k určení aktuální koncentrace radonu jako průměrné koncentrace za jeden týden).

Obr. 13 Stopový detektor [44]



Obr. 14

Elektretový dozimetr [44]



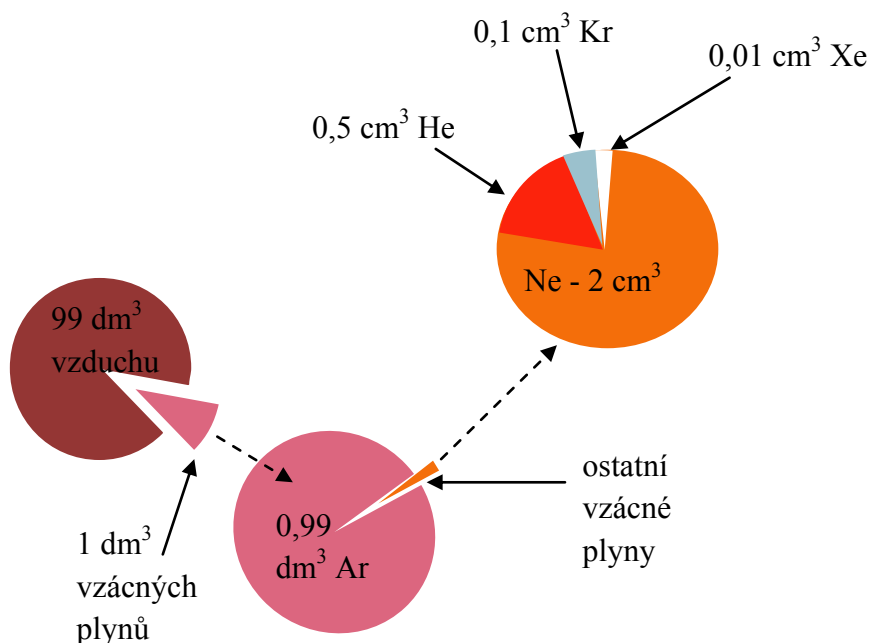
III. 4 Výskyt

Vzácné plyny se vyskytují v zemské atmosféře. Jejich zastoupení ve vzduchu v objemových procentech je: 0,94 % argonu, $1,8 \times 10^{-3}$ % neonu, $5,2 \times 10^{-4}$ % helia, $1,1 \times 10^{-4}$ % kryptonu a 9×10^{-6} % xenonu. Tedy budeme-li pro lepší názornost uvažovat 100 dm³ vzduchu, pak asi 0,99 dm³ tvoří argon, 2 cm³ neon, 0,5 cm³ helium, 0,1 cm³ krypton a 0,01 cm³ xenon (viz obr. 15).

Helium je po vodíku druhým nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru. Na Zemi jsou jeho hlavními zdroji některá ložiska zemního plynu v Polsku a v USA, v nichž obsah helia může činit až 8 obj. %.

Radon se vyskytuje v přírodě v horkých pramenech a některých horninách (žula).

Obr. 15

Diagram obsahu vzácných plynů ve 100 dm³ vzduchu

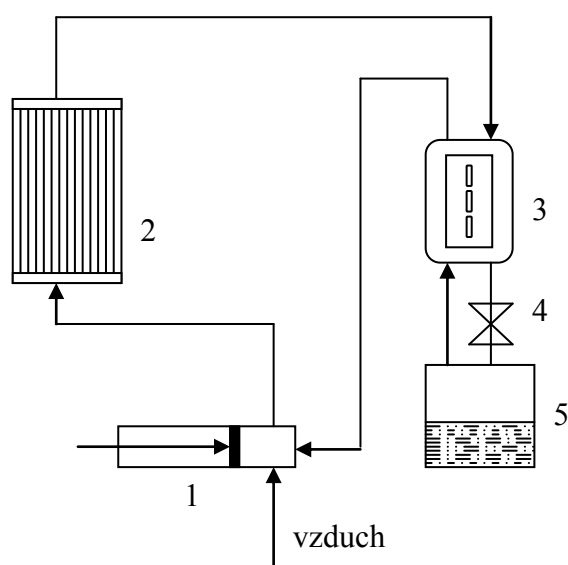
III. 5 Výroba

Helium se získává po zkapalnění uhlovodíků ze zemního plynu s obsahem helia alespoň 0,4 obj. %. Radon lze izolovat jako produkt radioaktivního rozpadu izotopu ^{226}Ra . Hlavním zdrojem pro výrobu argonu, neonu, xenonu a kryptonu je zemská atmosféra, ze které se tyto prvky získávají jako vedlejší produkt frakční destilace zkapalněného vzduchu.

Zkapalnění vzduchu

Nejjednodušším a nejpoužívanějším způsobem zkapalnění vzduchu je **Lindého způsob** (viz obr. 16), který vychází z adiabatické expanze plynu. Vzduch je nejprve kompresorem stlačen na tlak 20 MPa (jedná se tedy o vysokotlaký způsob zkapalnění). Teplo vzniklé kompresí odevzdá vzduch ve vodním chladiči a přes výměník tepla pokračuje do škrticího ventilu, poté se rozepte do velkého prostoru a vlivem Joule-Thomsonova efektu se ochladí a část ho zkapalní. Tato část se hromadí v zásobníku zkapalněného vzduchu. Nezkapalněný podíl vzduchu se vrací přes výměník tepla, kde protiproudně ochlazuje přiváděný vzduch, k opětovnému stlačení do kompresoru [45].

Obr. 16 Lindého způsob zkapalňování vzduchu



Popis:

- 1 – kompresor,
- 2 – chladič,
- 3 – výměník tepla,
- 4 – expanzní (škrticí) ventil,
- 5 – zásobník zkapalněného vzduchu

V průmyslové praxi se ke zkapalnění vzduchu používají také Claudeův a Kapicův způsob zkapalnění.

Claudeův způsob využívá mechanickou práci vznikající při adiabatickém rozpínání vzduchu k pohonu kompresoru, jímž se vzduch stlačí a ochladí. Asi 1/4 vzduchu expanduje přímo přes expanzní ventil a 3/4 jsou využívány v expanzním stroji. Tlak stlačeného vzduchu je 2 – 4 MPa.

Kapicův způsob využívá mechanickou práci vzduchu, ochlazeného a stlačeného na 0,5 – 0,6 MPa, při jeho expanzi v turbíně. Z první věty termodynamiky:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A,$$

pro $Q = \text{konst}$ ($\Delta Q = 0$) plyne, že

$$\Delta A = - \Delta U = - c_v \Delta T,$$

kde ΔQ je změna tepla, ΔU je změna vnitřní energie, ΔA je změna práce, c_v je měrné teplo při stálém objemu a ΔT je změna teploty.

Tedy koná-li plyn za adiabatické izolace práci, pak dochází na úkor jeho vnitřní energie k jeho ochlazení. Na tomto principu fungují nízkotlaká zkapalňovací zařízení [45].

Pozn.: Vzduch, který se používá ke zkapalnění je zbavený prachových částic, vzdušné vlhkosti, oxidu uhličitého a dalších příměsí. Položme si nyní problémovou otázku: „Proč musí být vzduch, před zkapalněním absolutně suchý?“

Ke zkapalnění vzduchu (resp. kyslíku a dusíku) musíme adiabatickou expanzí dosáhnout teploty alespoň -196 °C (teplota varu dusíku za atmosférického tlaku), tedy teploty výrazně nižší než jsou teploty tání vody (0 °C za atmosférického tlaku) a oxidu uhličitého (-56,6 °C, při tlaku 527 kPa). Nezkapalněný podíl vzduchu, který je veden k opětovnému stlačení, by v důsledku obsahu vzdušné vlhkosti způsobil vznik ledu ve ventilech, což by, při tlaku, na který je vzduch stlačen v kompresoru (tedy při tlaku 25 MPa), znamenalo výbuch zkapalňovacího zařízení.

Kapalný vzduch

Zkapalněný vzduch obsahuje asi 78 obj. % dusíku, 21 obj. % kyslíku, 0,94 obj. % argonu a zbylých 0,06 obj. % tvoří ostatní vzácné plyny (He, Ne, Kr, Xe). Jednotlivé plyny získáváme ze zkapalněného vzduchu frakčním oddestilováním. Nejčastěji je v průmyslu využívána Lindého rektifikační kolona (obr. 17), kde dochází k oddestilování kyslíku a dusíku a na vedlejších kolonách také vzácných plynů.

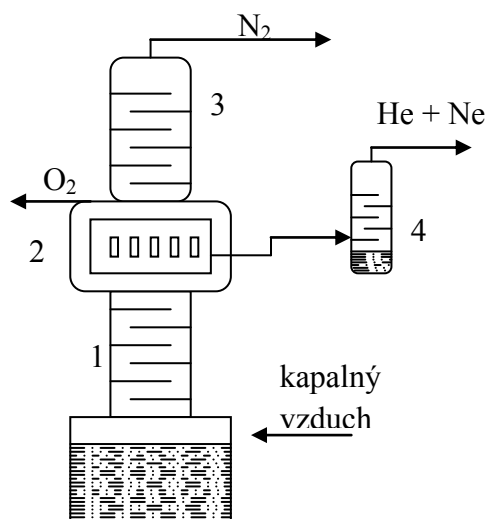
Kolona se skládá ze dvou částí – z horní, ve které je atmosférický tlak a spodní, v níž je tlak zvýšen na 5 MPa. Dusík jako těkavější plyn (teplota varu dusíku za atmosférického tlaku je -196 °C) se odvádí z horních pater kolony, zatímco méně

těkavý kyslík (teplota varu kyslíku za atmosférického tlaku je $-182\text{ }^{\circ}\text{C}$) se zkapalňuje v horní části spodní kolony. Helium a neon se oddělují v polovině rektifikační kolony a tvoří tzv. helium-neonovou směs. Následné oddělení neonu od hélia se provádí na další pomocné koloně a to postupnou adsorpcí¹ a desorpcí² na aktivním uhlí nebo na silikagelu při teplotě pod $-210\text{ }^{\circ}\text{C}$ [46].

1/ Pozn.: **Adsorpce** je pochod, při kterém je žádaná složka směsi pohlcena na povrchu vhodné pevné látky (adsorbentu).

2/ Pozn.: **Desorpce** je opačný pochod k adsorpci, tedy oddělení adsorbované složky směsi z povrchu adsorbentu nejčastěji proudem vzduchu, dusíku nebo vodní páry.

Obr. 17 Lindého rektifikační kolona



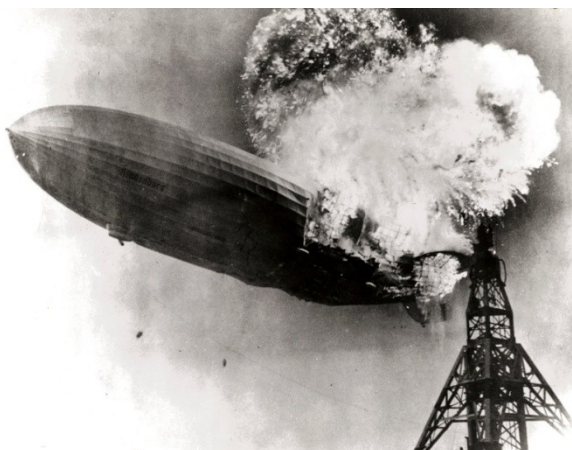
Popis:

- 1 – spodní kolona,
- 2 – kondenzátor,
- 3 – horní kolona,
- 4 – vedlejší (pomocná) kolona

III. 6 Použití

Největší využití ze všech vzácných plynů má helium. Díky své inertnosti a lehkosti je používáno jako náplň do vzducholodí, kde nahradilo sice lehčí a levnější, ale reaktivnější vodík. Vodík se používal až do roku 1937, kdy při přistávání na letišti v New Jersey došlo k výbuchu německé vzducholodi Hindenburg (viz obr. 18).

Obr. 18 Výbuch vzducholodi Hindenburg [47]



Další použití helia:

- ochranná atmosféra při svařování některých kovů (Al, Mg, Ti, nerezové oceli),
- nosný plyn v plynové chromatografii a elementární analýze – využití supravodivých magnetu v NMR,
- součást dýhací směsi pro potáče; zde nahradilo dusík, protože jeho rozpustnost v krvi je mnohem menší než u dusíku; při náhlém vynoření tedy potápěčům nehrozí vznik tzv. kesonové nemoci,
- chladící medium v plynu chlazených jaderných reaktorech,
- k dosahování velmi nízkých teplot (helium má ze všech prvků nejnižší teplotu varu)
- kapalně helium se využívá ke studiu supratekutosti.

Argon je využíván podobně jako helium v metalurgickém průmyslu, kde vytváří inertní atmosféru při sváření svárů, u nichž vyžadujeme maximální chemickou a mechanickou odolnost. Helium, neon, argon, krypton a xenon se používají jako náplně do reklamních trubic. Helium svítí oranžovočervenou barvou, neon červeně, argon růžově, krypton a xenon bíle. Xenonem a kryptonem jsou plněny světlomety některých aut.

Radon byl používán k léčbě rakoviny. Jeho poločas rozpadu je však příliš krátký (3,825 dní) a proto byl nahrazen jinými radionuklidy např. izotopem iridia ^{192}Ir . V silně zředěných roztocích se radon používá v lázeňství k léčbě pohybového ústrojí.

III. 7 Sloučeniny vzácných plynů

Do roku 1962 nebyly známe žádné sloučeniny vzácných plynů. V roce 1962 ovšem N. Barlett zjistil, že reakcí PtF_6 s kyslíkem vzniká sloučenina, která lze popsat vzorcem $\text{O}_2^+ [\text{PtF}_6]^-$ [2]. Vzhledem k podobným ionizačním energiím (energie, kterou musíme dodat, abychom z elektroneutrálního atomu vytvořili iont) kyslíku a xenonu usoudil, že by podobně mohl reagovat i xenon za vzniku sloučeniny, kterou lze vyjádřit vzorcem $\text{Xe}^+ [\text{PtF}_6]^-$ [48]. Tuto sloučeninu také připravil jako oranžovožlutou pevnou látku.

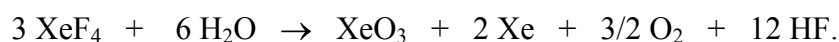
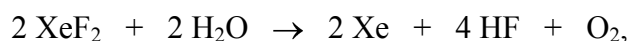
Pozn.: Později bylo zjištěno, že reakcí Xe a PtF_6 vzniká sloučenina s nestechiometrickým složením, která lze popsat vzorcem $\text{Xe}[\text{PtF}_6]_x$, kde $x \in <1,2>$ [48].

Vzácné plyny (Ar, Kr a Xe) vytvářejí s některými organickými sloučeninami (typicky s hydrochinonem) tzv. **klathráty**. Při krystalizaci hydrochinonu vznikají v jeho krystalové struktuře dutiny, do kterých se může vmezeřit atom vzácného plynu. Takováto struktura je stabilizována pouze slabými van der Waalsovými silami a nejedná se tedy o sloučeniny v pravém slova smyslu. Tyto „sloučeniny“ mají nestechiometrické složení, které lze přibližně vyjádřit poměrem vzácný plyn:hydrochinon = 1:3.

Ze vzácných plynů vytvářejí sloučeniny xenon, krypton a pravděpodobně také radon. Xenon a krypton tvoří sloučeniny pouze s nejelektronegativnějšími prvky, tedy především s fluorem a kyslíkem. Helium, neon a argon mají příliš vysoké hodnoty ionizačních energií, takže se ve formě iontů nemohou vyskytovat. Jinak řečeno, nemáme dostatečně silné oxidační činidlo, které by s heliem, neonem nebo argonem reagovalo. Radon je pravděpodobně schopen tvořit sloučeniny, které se ale vlivem radioaktivity radonu rozpadnou dříve, než jsme je schopni detekovat.

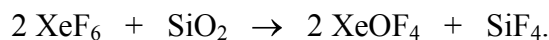
Jako příklady uveďme bílé krystalické sloučeniny XeF_2 , XeF_4 , KrF_2 a dále XeF_6 , který je v pevném stavu bezbarvý, v plynném a kapalném skupenství žlutý. Z kyslíkatých sloučenin uveďme explozivní XeO_3 . Z hlediska stereochemie (prostorového uspořádání molekul) jsou XeF_2 a KrF_2 molekuly lineární, XeF_4 je molekula čtvercová, XeF_6 tvoří deformovaný oktaedr a XeO_3 je molekula pyramidální.

Fluoridy xenonu velmi snadno podléhají hydrolýze:

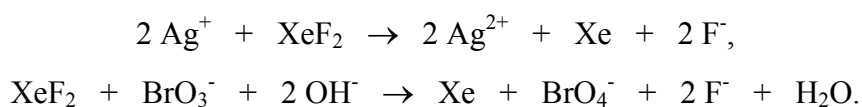


Proto s nimi musíme pracovat v přísně bezvodém prostředí. V případě XeF_4 je jedním z produktů hydrolýzy XeO_3 , který svojí výbušností znesnadňuje práci s fluoro

sloučeninami xenonu. Fluorid xenonový (ani další binární sloučeniny xenonu) nelze uchovávat ve skleněných nádobách, protože reaguje s SiO_2 :



Práce se sloučeninami vzácných plynů je velmi nesnadná a vyžaduje dodržení přesně stanovených podmínek a speciální aparaturu z Monelova kovu (slitina mědi a niklu). Fluoridy xenonu lze použít jako velmi silných oxidačních činidel k dosažení neobvykle vysokých oxidačních čísel u řady prvků, např.:



V poslední době byly připraveny i některé sloučeniny s vazbou Xe-N. Jedná se obvykle o složité komplexní sloučeniny. Například na McMaster University Hamilton v Ontariu se podařilo skupině vědců v letech 2006 – 2008 připravit sloučeniny: $[\text{F}_5\text{TeN}(\text{H})\text{Xe}][\text{AsF}_6]$, $[\text{F}_3\text{S}\equiv\text{NXeF}][\text{AsF}_6]$ a $[\text{F}_5\text{SN}(\text{H})\text{Xe}][\text{AsF}_6]$ (viz kapitola II. 4).

IV. Diskuse

IV. 1 Shrnutí provedených rozborů středoškolských učebnic

První část práce je věnována rozboru středoškolských učebnic chemie a fyziky z hlediska obsahu učiva o vzácných plynech.

Učebnice chemie

K analýze českých středoškolských učebnic chemie byly vybrány čtyři gymnaziální učebnice [3 – 6], čtyři učebnice chemie určené pro výuku na středních školách, středních odborných školách a středních odborných učilištích [7 – 10] a dva přehledy středoškolské chemie [11], [12].

Ve většině zkoumaných učebnicích chemie [3 – 12] je kapitola Vzácné plyny zpracována po obsahové i rozsahové stránce podobným způsobem (viz tab. 1), a to jako přehled základních informací o této skupině. Žádná z učebnic neuvádí bližší informace o výrobě vzácných plynů a až na [6] ani o objevu jednotlivých plynů.

V nejpoužívanějších gymnaziálních učebnicích chemie [3] – Mareček, Honza, [5] – Vacík a [6] – Flemr, Dušek je kapitola Vzácné plyny zpracována výstižným, ale ne příliš podrobným způsobem. V učebnici [6] – Flemr, Dušek – není vůbec zmínka o výrobě vzácných plynů a supravodivosti a supratekutosti helia, ale naopak, jak již bylo řečeno, jsou zde zmíněny objevy vzácných plynů. V učebnici [3] – Mareček, Honza – chybí významnější vlastnosti helia (supravodivost, supratekutost), ale nalezneme podrobněji (oproti ostatním zkoumaným učebnicím chemie [4 – 12]) zpracovaný oddíl o sloučeninách vzácných plynů (vlastnosti a reaktivita XeO_3 , několik reakcí sloučenin vzácných plynů).

Z učebnic chemie určených pro střední školy, střední odborné školy a střední odborná učiliště svým pojetím vybočuje učebnice [10] – Banýr, Beneš, která některé informace podává pomocí problémových otázek (malá reaktivita a atomový charakter vzácných plynů, pojmenování uvedených sloučenin) a některé informace ponechává k samostudiu a samostatné práci žáků (zadání referátu na téma „radon – léčebné účely i riziko životního prostředí“).

Učebnice fyziky

Do rozboru byly zařazeny tři řady středoškolských učebnic fyziky. Nejstarší řada je z 60. let 20. století [13 – 15] a je určena pro výuku na středních všeobecně vzdělávacích školách. Zbylé dvě řady učebnic jsou z 90. let 20. století. Učebnice [16], [17] jsou určené k výuce na středních školách a řada učebnic [18 – 21] je určena k výuce na gymnáziích.

Ve zkoumaných učebnicích fyziky [13 – 21] nalezneme jen minimum informací, které by souvisely se vzácnými plyny. Ve starší řadě učebnic [13 – 15] z 60. let je lépe a podrobněji uvedeno zkapalňování plynů [14] (schéma a popis Lindèho způsobu zkapalnění vzduchu, zmínka o permanentních plynech) a nalezneme zde obecné vysvětlení supravodivosti [14]. Naopak v novějších řadách učebnic fyziky pro střední školy [16], [17] a pro gymnázia [18 – 21] je podrobněji zpracována astrofyzika [17], [21] (jaderná fúze na Slunci) a v [22] je vysvětlen princip a použití He-Ne laseru.

Zahraniční učebnice

Pro srovnání výuky středoškolské chemie se zahraničím byly do rozboru zařazeny dvě německé učebnice [23], [26] jedna rakouská [27] a jedna anglická učebnice [24].

Obsah kapitoly vzácné plyny se v uvedených zahraničních učebnicích chemie liší. V rakouské učebnici [27] tuto kapitolu nenalezneme, v anglické učebnici [24] je zpracována velmi stručně a v německých [23] a [26] je kapitola Vzácné plyny podána podobně jako v českých středoškolských učebnicích chemie. Tyto výukové texty jsou oproti českým učebnicím doplněny o ilustrující obrázky a také o některé (viz kap. II. 3) další informace a zajímavosti (objev sloučenin, Lindèho způsob zkapalnění vzduchu, barvy zářivek, apod.).

Z provedeného rozboru vyplynulo, že ani nejpoužívanější gymnaziální učebnice chemie [3], [5], [6] neobsahují vyčerpávající přehled informací o vzácných plynech. Z následné konzultace s učiteli chemie na Gymnáziu ve Vysokém Mýtě vyplynula potřeba vytvořit kompaktní výukový modul kapitoly Vzácné plyny včetně výukové prezentace (Microsoft PowerPoint), který doplní a rozšíří stávající standard výuky této kapitoly na středních školách chemického zaměření, na gymnáziích a popřípadě i na středních školách nechemického zaměření o další, mnohdy velmi zajímavé poznatky související nejen s chemií, ale i s využitím vzácných plynů ve fyzice a ve zdravotnictví (magnetokardiografie, magnetoencefalografie).

IV. 2 Výukový modul kapitoly Vzácné plyny

Hlavním cílem předkládané bakalářské práce bylo vytvoření výukového modulu kapitoly Vzácné plyny určeného pro výuku na středních školách. Vzhledem k rozsahu zpracované kapitoly a možným časovým dotacím při výuce této kapitoly na středních školách (obvykle jen jedna vyučovací hodina) byl vytvořen výukový modul ve dvou variantách – základní a rozšířený. Samotný modul se skládá z výukové prezentace (Microsoft PowerPoint) – (jedna prezentace pro každou úroveň) a doprovodného textu, který je pro obě úrovně společný.

Základní modul

Základní modul (výuková prezentace Microsoft PowerPoint) je určen pro výuku na všech typech středních škol. Informace jsou v něm strukturovány obvyklým způsobem používaným ve školní praxi, tedy do částí: prvky skupiny, objevy, výskyt, vlastnosti, výroba, použití a sloučeniny.

V oddíle prvky skupiny jsou uvedeny jednotlivé prvky s jejich řeckými (popř. latinskými) názvy, které odrážejí některé z vlastností těchto prvků.

Do základní verze jsou, na rozdíl od většiny zkoumaných učebnic chemie [3 – 12], zařazeny objevy všech prvků, protože většina z nich byla získána ze vzduchu pomocí frakční destilace, která je podrobněji popsána v oddíle výroba. Z jednotlivých objevů je zdůrazněn objev helia – pomocí obrázku znázorňujícího spektrální čáry helia – a argonu, protože jeho objevení je spojeno se známým rozparem v hustotě dusíku chemicky připraveného a získaného ze vzduchu a vedlo až k vytvoření nové skupiny periodické soustavy prvků, což může žákům sloužit jako ukázka, kam vedou přesná měření.

Výskyt jednotlivých prvků v zemské atmosféře je zpracován pomocí názorného diagramu s využitím přibližného obsahu těchto prvků ve 100 dm³ vzduchu. Tato aproximace je pro žáky lépe představitelná, než běžně uváděný procentuální obsah.

Kromě obecných vlastností společných všem prvkům této skupiny (nízká teplota tání, varu, jednoatomové plyny, zaplněná elektronová konfigurace, atd.) jsou v základní verzi uvedeny i definice supratekutosti a supravodivosti a jsou připojeny internetové odkazy na videa o levitujícím vláčku a kapalině, která teče „do kopce“.

V oddíle výroba je popsána výroba kapalného vzduchu pomocí Lindèho způsobu zkapalnění a následná frakční destilaci zkapalněného vzduchu pomocí Lindèho rektifikační kolony. Oba pochody jsou pro lepší objasnění doplněny o schematické nákresy příslušných zařízení.

Vzácné plyny se běžně používají jako náplně do reklamních trubic. Barvy, kterými jednotlivé vzácné plyny svítí, jsou znázorněny pomocí obrázků jednotlivých osvětlovacích trubic. Dále je uvedeno několik možností použití helia – ochranná atmosféra při svařování, nosný plyn v plynové chromatografii, dosahování nízkých teplot, atd. a také možnost využití helia jako náplně do vzducholodí místo reaktivního vodíku, jehož reaktivita je přiblížena pomocí internetového odkazu na video o výbuchu vzducholodi Hindenburg.

V posledním oddíle – sloučeniny – je uvedena první připravená sloučenina vzácných plynů a okolnosti, za kterých byla připravena. Dále je objasněno, které prvky ze vzácných plynů mohou tvořit sloučeniny a proč. Nakonec je uvedeno několik příkladů sloučenin xenonu s ilustrujícími obrázky.

Rozšířený modul

Rozšířený modul (výuková prezentace Microsoft PowerPoint) je určen především pro výuku na víceletých gymnáziích a středních školách chemického zaměření, popř. do chemického kroužku. Oproti základní verzi modulu obsahuje rozšířená verze další podrobnější informace.

V oddíle vlastnosti je uveden nákres a popis fázového diagramu helia a základní vlastnosti radonu. Produkty radioaktivního rozpadu radonu způsobují rakovinu plic, a proto se obsah radonu v domech sleduje. Průběh měření je žákům přiblížen pomocí internetového odkazu na video o měření radonu.

Další rozšíření oproti základní verzi je v oddíle použití, kde jsou uvedeny možnosti využití kapalného helia k dosahování nízkých teplot a supravodivosti některých kovů (Nb, Sn, In a další). Dále jsou uvedeny praktické důsledky a využití Meissnerova-Ochsenfeldova jevu (levitace magnetu – obrázek a internetový odkaz na video o levitujícím vláčku) a Josephsonova jevu (měření magnetického pole srdce a mozku – obrázky magnetokardiografu a magnetoencefalografu).

V oddíle sloučeniny jsou navíc uvedeny příklady hydrolytických reakcí sloučenin vzácných plynů a jejich reakce s oxidem křemičitým.

Validace vytvořeného modulu

Nad rámec zadání bakalářské práce byla provedena částečnou validaci vytvořeného modulu. Ta zahrnovala ověření modulu přímo ve výuce na střední škole a vyhodnocení dotazníku, jako zpětné vazby od žáků [49]. Samotný modul byl vyzkoušen na Gymnáziu ve Vysokém Mýtě v rozsahu jedné vyučovací hodiny. Z tohoto důvodu byla k vyzkoušení zvolena základní verze modulu. Výuka proběhla 13. 6. 2012 ve třídě 1. B (první ročník čtyřletého gymnázia) a zúčastnilo se jí 26 žáků, kteří vyplnili předem připravený dotazník.

První část dotazníku obsahuje škálové otázky se škálou 1 – nejlepší až 5 – nejhorší (shoduje se se stupnicí ve škole).

Seznam otázek:

Otázka č. 1 – Jak si ti líbila tato hodina?

Otázka č. 2 – Pochopil jsi při výkladu popisovanou problematiku?

Otázka č. 3 – Zapamatoval sis nové učivo?

Otázka č. 4 – Byl pro tebe rozsah (množství informací) přiměřený?

Otázka č. 5 – Vyhovovala ti rychlost výkladu?

Otázka č. 6 – Jak se ti líbila grafická stránka prezentace (obrázky, videa, schémata)?

Otázka č. 7 – Myslíš, že ti tento způsob výuky pomohl pochopit a zapamatovat si učivo lépe než při běžné výuce bez využití informačních technologií?

Otázka č. 8 – Uvítal bys více podobných hodin?

K vyhodnocení těchto otázek byla získaná data sestavena do následující tabulky.

Tabulka 5 Tabulka získaných dat

Žák/ /žákyně	Otázka č. 1	Otázka č. 2	Otázka č. 3	Otázka č. 4	Otázka č. 5	Otázka č. 6	Otázka č. 7	Otázka č. 8
1	2	3	3	2	2	2	3	1
2	1	1	2	1	3	1	2	1
3	2	2	3	2	3	2	2	3
4	1	2	2	1	3	2	2	1
5	2	2	1	1	1	1	2	2
6	2	2	1	1	1	3	2	1
7	1	2	2	1	2	1	1	1
8	1	2	2	2	2	2	3	2

Žák/ /žákyně	Otázka č. 1	Otázka č. 2	Otázka č. 3	Otázka č. 4	Otázka č. 5	Otázka č. 6	Otázka č. 7	Otázka č. 8
9	2	2	1	1	2	1	1	1
10	1	2	1	1	1	2	1	1
11	2	2	2	1	3	1	2	2
12	2	1	2	1	2	1	2	1
13	2	2	2	1	1	2	1	1
14	2	2	2	2	2	1	1	2
15	1	1	1	2	2	1	3	1
16	2	2	2	2	2	2	2	2
17	2	2	2	1	1	3	2	2
18	1	2	3	2	2	3	2	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1
20	2	1	1	1	2	2	2	1
21	1	2	3	2	1	3	2	2
22	2	2	3	3	4	1	3	2
23	1	1	2	1	1	1	1	1
24	1	1	2	1	2	1	1	1
25	1	2	3	2	1	1	2	2
26	1	1	1	1	1	1	1	1

U každé otázky je pro každou škálovou položku určena **četnost** – udává kolikrát je daná škálová položka použita jako odpověď na danou otázku, **relativní četnost** – získáme ji jako podíl četnosti ku celkové četnosti, **aritmetický průměr** a **modus** – udává položku s největší četností. Dále jsou sestaveny **histogramy četnosti** – grafické vyjádření relativní četnosti pro jednotlivé škálové položky [50].

Tabulka 6 Tabulka četnosti jednotlivých škálových položek u otázek 1 až 8

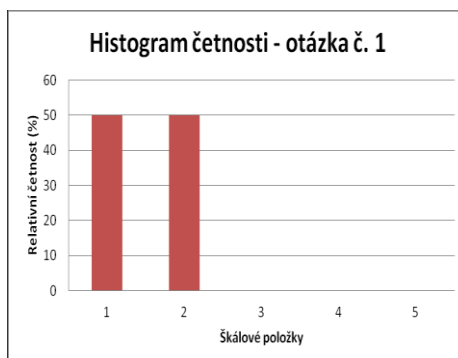
Škálová položka	Otázka č. 1		Otázka č. 2		Otázka č. 3	
	Četnost	Relativní četnost (%)	Četnost	Relativní četnost (%)	Četnost	Relativní četnost (%)
1	13	50,0	8	30,8	8	30,8
2	13	50,0	17	65,4	12	46,1
3	0		1	3,8	6	23,1
4	0		0		0	
5	0		0		0	
	Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,5$ Modus – položka 1 a 2 nabývají stejné četnosti		Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,7$ Modus $\hat{x} = 2$		Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,9$ Modus $\hat{x} = 2$	

Škálová položka	Otázka č. 4		Otázka č. 5		Otázka č. 6	
	Četnost	Relativní četnost (%)	Četnost	Relativní četnost (%)	Četnost	Relativní četnost (%)
1	16	61,6	10	38,5	14	53,8
2	9	34,6	11	42,3	8	30,8
3	1	3,8	4	15,4	4	15,4
4	0		1	3,8	0	
5	0		0		0	
	Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,4$ Modus $\hat{x} = 1$		Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,8$ Modus $\hat{x} = 2$		Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,6$ Modus $\hat{x} = 1$	

Škálová položka	Otázka č. 7		Otázka č. 8	
	Četnost	Relativní četnost (%)	Četnost	Relativní četnost (%)
1	9	34,6	16	61,6
2	13	50,0	9	34,6
3	4	15,4	1	3,8
4	0		0	
5	0		0	
	Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,8$ Modus $\hat{x} = 2$		Σ 26 Σ 100 Aritmetický průměr $\bar{x} = 1,4$ Modus $\hat{x} = 1$	

Otázka č. 1 – **Jak si ti líbila tato hodina?** – zkoumá, jak žáci hodnotí hodinu jako celek. Polovina dotázaných (13 žáků) ohodnotila hodinu stupněm 1 a druhá polovina stupněm 2. S průběhem hodiny byli tedy žáci spokojeni.

Obr. 19 Histogram četnosti jednotlivých škálových položek u otázky č. 1



Otázka č. 2 – **Pochopil jsi při výkladu popisovanou problematiku?** – a otázka č. 3 – **Zapamatoval sis nové učivo?** – zjišťuje, zda je pro žáky výuka s pomocí videoukázek a názorných schémat vložených v prezentaci (Microsoft PowerPoint) přínosná a látka takto podaná dobře pochopitelná a zapamatovatelná. Obě otázky byly ohodnoceny stupni 1, 2 a 3, přičemž nejvyšší četnost má u obou otázek stupeň 2. Odpovědi se však výrazně liší v četnosti stupně 3. Zatímco u otázky č. 2 je relativní četnost tohoto stupně 3,8 %, u otázky č. 3 je to 23,1 %. Žáci tedy látku pochopili, ale téměř čtvrtina z nich měla problém s jejím zapamatováním.

Obr. 20 Histogramy četnosti jednotlivých škálových položek u otázek č. 2 a č. 3



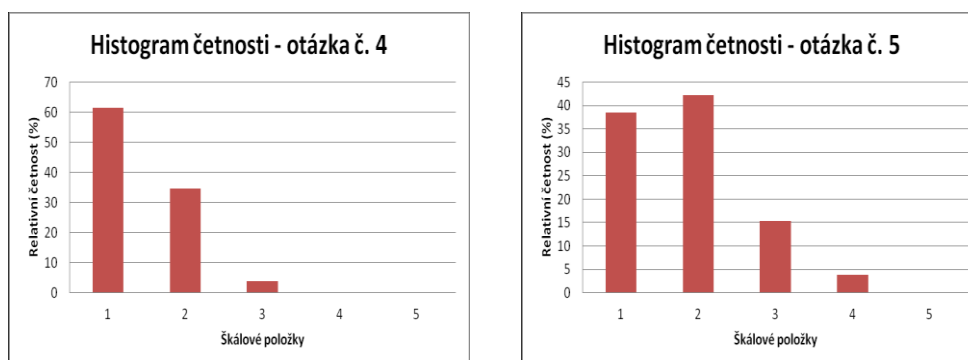
Podobným tématem se zabývá i otázka č. 7 – **Myslíš, že ti tento způsob výuky pomohl pochopit a zapamatovat si učivo lépe než při běžné výuce bez využití informačních technologií?** Tato otázka byla do dotazníku zařazena jako tzv. kontrolní otázka (pomocí dvou podobných otázek se zjistí, zda jsou získaná data věrohodná). Z podobnosti histogramů četnosti otázek 2, 3 a 7 (viz obr. 20, 21) je patrné, že získaná data mají patřičnou vypovídací hodnotu.

Obr. 21 Histogram četnosti jednotlivých škálových položek u otázky č. 7



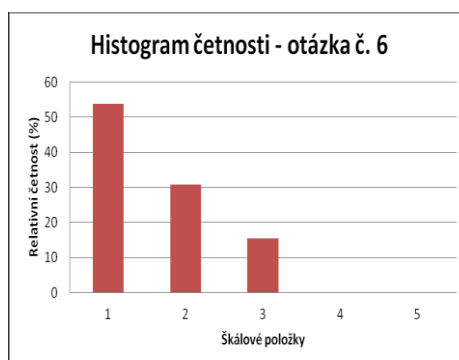
Otázka č. 4 – **Byl pro tebe rozsah (množství informací) přiměřený?** – a otázka č. 5 – **Vyhovovala ti rychlost výkladu?** – byla v dotazníku uvedena, pro zjištění, zda je množství informací, jemuž je nutné přizpůsobit rychlost výkladu, odpovídající pro výuku této kapitoly na středních školách. Rozsah hodnotí žáci jako vyhovující (relativní četnost položky 1 je 61,6 %), ale téměř pro pětinu (součet četnosti stupně 3 a 4) z nich bylo tempo rychlé.

Obr. 22 Histogramy četnosti jednotlivých škálových položek u otázek č. 4 a č. 5



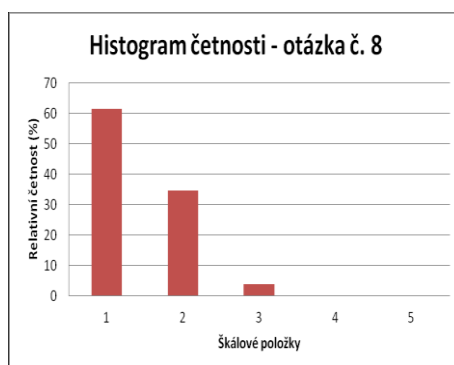
Otázka č. 6 – **Jak se ti líbila grafická stránka prezentace (obrázky, videa, schémata)?** – zkoumá, jak žáci hodnotí samotná videa, obrázky a schémata. Pouze 15,4 % žáků přiřadilo této položce stupněm 3 všichni ostatní (84,6 %) stupněm 1 a 2. Žákům se tedy grafická stránka prezentace líbila.

Obr. 23 Histogram četnosti jednotlivých škálových položek u otázky č. 6



Poslední otázka škálového typu, a to otázka č. 8 – **Uvítal bys více podobných hodin?** – zjišťuje, jestli by žáci uvítali další obdobné hodiny. 96,2 % žáků (součet četnosti stupně 1 a 2) by další podobné hodiny uvítali.

Obr. 24 Histogram četnosti jednotlivých škálových položek u otázky č. 8



Druhá část dotazníku je tvořena čtyřmi otevřenými položkami. U každé položky je ze získaných odpovědí sestaveno několik kategorií, do kterých jsou jednotlivé odpovědi zařazeny.

Seznam položek:

Položka A – Co se ti na prezentaci a výkladu nejvíce líbilo?

Položka B – Co se ti na prezentaci a výkladu nelíbilo, co bys doporučoval změnit?

Položka C – Která další témata bys uvítal takto zpracovaná a podaná?

Položka D – Další návrhy a připomínky:

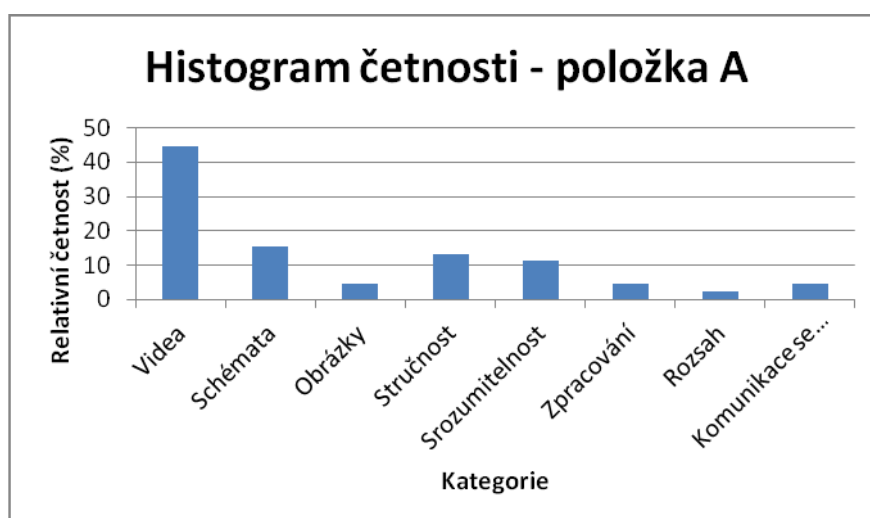
Tabulka 7 Tabulka četnosti jednotlivých kategorií pro položky A až D

Položka A			Položka B		
Kategorie	Četnost	Relativní četnost (%)	Kategorie	Četnost	Relativní četnost (%)
Videa	20	44,5	Projev	10	37,1
Schémat	7	15,6	Velká rychlost	4	14,8
Obrázky	2	4,4	Nejasné pojmy	4	14,8
Stručnost	6	13,4	Grafické zpracování	1	3,7
Srozumitelnost	5	11,1	Rozsah	1	3,7
Zpracování	2	4,4	Nic neměnit	6	22,2
Rozsah	1	2,2	Nezodpovězeno	1	3,7
Komunikace se třídou	2	4,4			
Σ 45		Σ 100	Σ 27		Σ 100

Položka C			Položka D		
Kategorie	Četnost	Relativní četnost (%)	Kategorie	Četnost	Relativní četnost (%)
Jaderná chemie	2	7,7	Zlepšit projev	4	15,4
Termochemie	2	7,7	Více videi a ukázek	1	3,8
Obecně více prezentací	4	15,4	Žádné návrhy	2	7,7
Nezodpovězeno	6	23,1	Nezodpovězeno	19	73,
Další kapitoly anorganické chemie	9	34,7			
Matematický model chemické vazby	1	3,8			
Redoxní reakce	1	3,8			
Nevím	1	3,8			
Σ 26		Σ 100	Σ 26		Σ 100

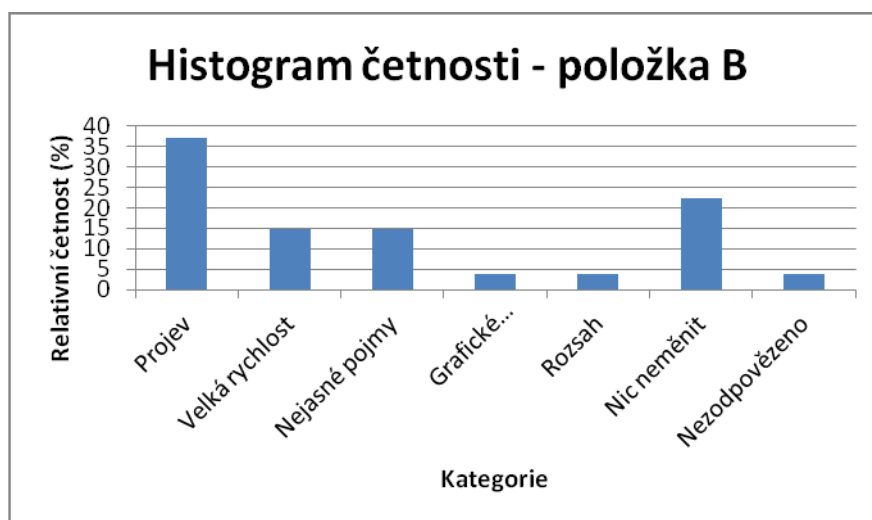
Položka A je otázka – **Co se ti na prezentaci a výkladu nejvíce líbilo?** U této položky žáci nejčastěji uváděli videa (44,5 %), schémata (15,6 %), stručnost (13,4 %) a srozumitelnost (11,1 %), což potvrzuje výsledky otázek 2 a 6. Žákům se dále líbily obrázky (4,4 %), zpracování (4,4 %), rozsah (2,2 %) a komunikace se třídou (4,4 %).

Obr. 25 Histogram četnosti jednotlivých kategorií pro položku A



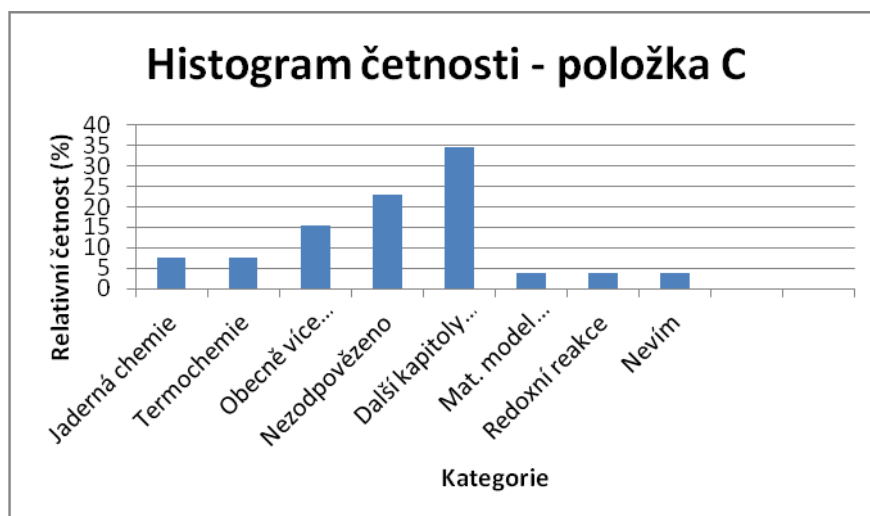
K položce B – **Co se ti na prezentaci a výkladu nelíbilo, co bys doporučoval změnit?** – napsaly dvě pětiny žáků, že projev přednášejícího, jedna pětina by neměnila nic. Další necelá jedna pětina žáků by uvítala pomalejší výklad a lepší objasnění použitých pojmů. To je v souladu s výsledky otázky 3, ale neshoduje se zcela s otázkou č. 2, podle níž žáci popisovanou problematiku pochopili dobře. Jeden žák by doporučoval změnit grafické zpracování, jeden rozsah a jeden na tuto otázku neodpovídal.

Obr. 26 Histogram četnosti jednotlivých kategorií pro položku B



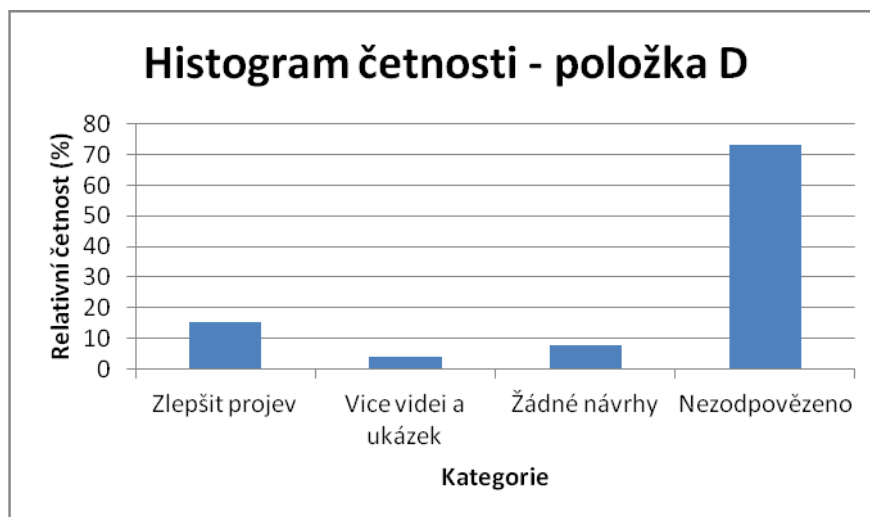
U položky C – **Která další témata bys uvítal takto zpracovaná a podaná?** – by 9 žáků uvítalo, kdyby byly podobným způsobem zpracovány i další kapitoly anorganické chemie a 4 žáci by uvítali ve výuce více prezentací všeobecně, což je ve shodě s otázkou č. 8. Z kapitol, které žáci již absolvovali, by ve formě audiovizualizované prezentace doporučovali zpracovat jadernou chemii (dva žáci), termochemii (dva žáci), matematický model chemické vazby (jeden žák) a redoxní reakce (jeden žák). Jeden žák u této položky uvedl, že neví, jaká témata by byla vhodná podobným způsobem zpracovat, a šest žáků tuto otázku nezodpovědělo.

Obr. 27 Histogram četnosti jednotlivých kategorií pro položku C



U čtvrté položky dotazníku položky D – **Další návrhy a připomínky:** – doporučují čtyři žáci zlepšit projev přednášejícího, jeden žák by uvítal více videí a ukázek, dva žáci odpověděli, že nemají další připomínky a 19 žáků tuto položku nevyplnilo.

Obr. 28 Histogram četnosti jednotlivých kategorií pro položku D



Orientační pedagogický výzkum, který byl proveden, se z hlediska rozsahu respondentů a průběhu šetření řadí k tzv. akčnímu výzkumu. Cílem tohoto výzkumu bylo zjištění použitelnosti základní verze modulu přímo ve výuce a zjištění možností zlepšení modulu, tak aby výuka co nejvíce odpovídala potřebám žáků [51].

Z provedeného dotazníkového šetření plyne, že žáci byli se současnou podobou základní verze výukového modulu spokojeni (viz otázka č. 1). Velmi kladně hodnotili především grafickou stránku prezentace (videa, schémata) – (viz položka A). Množství použitých pojmů žákům sice vyhovovalo (viz otázka č. 4), ale pro pětinu žáků bylo tempo příliš rychlé a měli tudíž problém pochopit některé pojmy (viz otázka č. 5, položka B). Více než polovina žáků by doporučovala zlepšit projev přednášejícího (viz položka B a položka D). Většina žáků (viz otázka č. 8) by uvítali další hodiny podobného typu a z oblasti chemie by chtěli obdobným způsobem probrat především další kapitoly obecné a anorganické chemie (viz položka C). To je pravděpodobně ovlivněno tím, že v prvním ročníku gymnázií je v hodinách chemie probíráno právě učivo obecné a anorganické chemie.

Bylo zjištěno, že základní verze modulu je pro výuku použitelná. Hlavní změny, které byly z provedeného šetření vyvozeny, spočívaly v následujících úpravách finální verze modulu:

- V oddíle objevy byl k objevu helia přidán obrázek spektrálních čar helia, aby žáci věděli co si pod tímto pojmem představit.
- Protože žáci v prvním ročníku ještě nemají patřičnou fyzikální představu o pojmu fázový diagram, je fázový diagram helia zařazen pouze do rozšířené verze modulu a v základní verzi je uvedena pouze definice pojmů supratekutost a supravodivost, přičemž jako He II (neboli supratekuté helium) je označeno helium ochlazené pod 2,17 K.
- Pro velký úspěch videí byl do základní verze zařazen internetový odkaz na video o kapalině, která teče „do kopce“, jež žákům usnadní pochopení pojmu supratekutost a do rozšířené verze byl k vlastnostem radonu přidán internetový odkaz na video o měření radonu v domech.

V. Závěr

Jedním z cílů předkládané bakalářské práce na téma „Vzácné plyny ve výuce na středních školách“ bylo provedení rozboru dostupných středoškolských učebnic se zřetelem na kapitolu Vzácné plyny. Rozborem vybraných učebnic bylo zjištěno, že informace, které o vzácných plynech nalezneme, jsou sice celkem dobře strukturovány, ale některé informace týkající se objevu, výroby, vlastností, použití a sloučenin vzácných plynů jsou podány příliš stručně a řada důležitých informací není uvedena vůbec.

Proto byl vytvořen výukový text doplněný o informace, jež ve zkoumaných učebnicích nenalezneme, nebo nejsou popsány dostatečně. Výukový text je první částí modulu, který je hlavním výstupem této práce. Modul dále obsahuje dvě verze výukové prezentace (Microsoft PowerPoint), které se liší množstvím informací, což učiteli umožňuje přizpůsobit výuku schopnostem žáků i časovým možnostem.

Nad rámec zadání bakalářské práce byla základní (původní) verze tohoto modulu vyzkoušena přímo ve výuce na gymnáziu. Podle výsledků dotazníku, který žáci po výuce vyplnili, a podle jejich reakcí při samotné výuce, byl modul upraven do současné (prezentované) podoby. Pro úplnou validaci vytvořeného modulu by samozřejmě bylo zapotřebí opětovného vyzkoušení, nejlépe obou verzí, přímo ve výuce a to na větším vzorku respondentů, což přesahuje rámec bakalářské práce.

Žákům se tento způsob výuky velmi líbil. Uvítali především vložené internetové odkazy na videa, která výuku zpestřila a žákům pomohla k lepšímu pochopení vykládaných pojmů. Žáci projevili názor, aby byly podobným způsobem zpracovány i další kapitoly anorganické chemie.

Summary

One of the objectives of my bachelor's thesis on the topic “Noble gases in chemistry education at secondary schools” was an analysis of available textbooks for secondary schools with regard to chapter Noble gases. Facts about noble gases, which can be found in textbooks, are quite well structured, however some information concerning the discovery, production, properties, usage and compounds of rare gases are mentioned only briefly and some are not listed at all.

Because of that was created an educational text, complemented by information that could not be found or were not adequately described in textbooks that were examined. The first part of a module is educational text, which is the main outcome of my thesis. The module as well includes educative Microsoft PowerPoint presentation in two versions, which differ in the amount of information. This allows teacher to adapt teaching mode according to students' skills and time schedules.

Moreover, the basic version of this module was directly tested in chemistry teaching at secondary school. Considering the results of a questionnaire filled by students after lesson and in regard to their responses during the actual teaching, the module was edited into the current form. For the complete validation of created module, it would be certainly necessary, to make its re-testing preferably both versions right in the teaching and with a larger sample of respondents, which goes beyond possibilities of the bachelor's thesis.

Scholars liked this method of teaching very much. They welcomed especially embedded links to videos, which diversified the lesson and helped students for better understanding of stated concepts. Students would be delighted if other chapters of inorganic chemistry were processed by similar way.

VI. Literatura a internetové odkazy

1. Petty G.: Moderní vyučování, Portál, Praha, 2002; ISBN 80-7178-070-7
2. Greenwood N. N., Earnshaw A.: Chemie prvků, Informatorium, Praha, 1993; ISBN 80-85427-38-9
3. Mareček A., Honza J.: Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl, Nakladatelství Olomouc, Olomouc, 1998; ISBN 80-7182-055-5
4. Šrámek V.: Chemie obecná a anorganická, Nakladatelství Olomouc, Olomouc, 2000; ISBN 80-7182-099-7
5. Vacík J. a kol.: Chemie I (obecná a anorganická) pro gymnázia, SPN – pedagogické nakladatelství, a.s., Praha 1995; ISBN 80-85937-00-X
6. Flemr V., Dušek B.: Chemie pro gymnázia I (obecná a anorganická), SPN – pedagogické nakladatelství, Praha, 2001; ISBN 80-7235-147-8
7. Kovalčíková T.: Obecná a anorganická chemie – Studijní text pro SPŠCH, Nakladatelství Pavel Klouda, Ostrava, 2004, ISBN 80-86369-10-2
8. Peč P., Pečová D.: Učebnice středoškolské chemie a biochemie, Nakladatelství Olomouc, Olomouc, 2001; ISBN 80-7182-034-2
9. Blažek J., Fabini J.: Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření, SPN – pedagogické nakladatelství, a.s., Praha, 2005; ISBN 80-7235-104-4
10. Banýr J., Beneš P. a kol.: Chemie pro střední školy, SPN – pedagogické nakladatelství, a.s., Praha, 1999; ISBN 80-85937-46-8
11. Vacík J. a kol.: Přehled středoškolské chemie, SPN – pedagogické nakladatelství, a.s., Praha, 1999; ISBN 80-7235-108-7
12. Kotlík B., Růžicková K.: Chemie I. v kostce, Fragment, Havlíčkův Brod, 2000; ISBN 80-7200-337-2
13. Marek J. a kol.: Fyzika pro I. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (gymnázia), SPN Praha, 1966
14. Vanovič J. a kol.: Fyzika pro II. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (gymnázia), SPN, Praha, 1965
15. Fuka J. a kol.: Fyzika pro III. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (pro III. a IV. ročník gymnázia), SPN, Praha, 1971
16. Lepil O. a kol.: Fyzika pro střední školy, I. díl, Jednota českých matematiků a fyziků, Praha, 1993; ISBN 80-7015-432-2

17. Lepil O. a kol.: Fyzika pro střední školy II., Prometheus, Praha, 2001; ISBN 80-7196-185-X
18. Bednařík M., Šíroká M.: Fyzika pro gymnázia – Mechanika, Prometheus, Praha, 2004; ISBN 80-7196-176-0
19. Bartuška K., Svoboda E.: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika, Prometheus, Praha, 2005; ISBN 80-7196-200-7
20. Štoll I.: Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta, Prometheus, Praha, 2005; ISBN 80-7196-241-4
21. Macháček M.: Fyzika pro gymnázia – Astrofyzika, Prometheus, Praha, 2004; ISBN 80-7196-277-5
22. Brdlička R., Kalousek M., Schütz A.: Úvod do fyzikální chemie, SNTL/ALFA, Praha, 1972
23. Eisner W. a kol.: Chemie 1a pro střední školy, Scientia, Praha, 1996; ISBN 80-7183-043-7
24. Hill G., Holman J.: Chemistry in context 6th Edition, Nelson Thornes, Cheltenham, 2011; ISBN 978-1-4085-1496-2
25. <http://cdn.physorg.com/newman/gfx/news/hires/2009/1-IBMinXenon.jpg>
(aktualizace k 1. 4. 2013)
26. Geiger W. u. a.: Chemie für die Sekundarstufe I Länderausgabe o Band 1, Cornelsen Verlag, Berlin, 1991; ISBN 3-464-07398-X
27. Januschewsky, Jarisch: Chemie 1 für die Oberstufe, Ueberreuter – Deuticke, Wien, 1989; ISBN 3-7005-7000-7
28. Fir B., Whalen J. Mercier H. P. A., Dixon D. A., Schrobilgen G. J.: Inorg. Chem., 45, 2006, 1983
29. Smith G. L., Mercier H. P. A., Schrobilgen G. J.: Inorg. Chem., 46, 2007, 1371
30. Smith G. L., Mercier H. P. A., Schrobilgen G. J.: Inorg. Chem., 47, 2008, 4178
31. Rotter, M.: Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, 53, 2008, 4, 265 – 277
32. Šott, M.: Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, 14, 1969, 4, 163 – 177
33. <http://physics.mff.cuni.cz/kfnt/cs/vyuka/vyuka.html> (aktualizace k 1. 4. 2013)
31. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Levitation_of_a_magnet_on_a_superconductor_with_north_and_south_pole_inversion.ogv/mid-Levitation_of_a_magnet_on_a_superconductor_with_north_and_south_pole_inversion.ogv.jpg (aktualizace k 1. 4. 2013)
35. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:MFI-system-wiki.jpg>, (aktualizace k 1. 4. 2013)

36. http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:NIMH_MEG.jpg (aktualizace k 1. 4. 2013)
37. <http://cdsweb.cern.ch/record/905939> (aktualizace k 1. 4. 2013)
38. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:3TMRI.jpg> (aktualizace k 1. 4. 2013)
39. http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:MRI_head_side.jpg, (aktualizace k 1. 4. 2013)
40. http://en.wikipedia.org/wiki/File:A_maglev_train_coming_out_Pudong_International_Airport_Shanghai.jpg (aktualizace k 1. 4. 2013)
41. Cotton F. A., Wilkinson G.: Anorganická chemie, Academia, Praha, 1973
42. Rotter M.: Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, 43, 1998, 4, 298 – 307
43. Andronikašvili, E. L.: Vzpomínky na kapalné hélium, Mladá fronta, Praha, 1983
44. <http://www.radonovyprogram.cz/radon/mereni-radonu-v-ovzdusi-budov>
(aktualizace k 1. 4. 2013)
45. Mocik S., Šimák Z., Halášová R.: Chemická technológia pre učiteľov, Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava, 1980
46. Neiser J., Hauzar I., Kraitr M., Jelínek F.: Obecná chemická technologie, SPN, Praha, 1981
47. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hindenburg_burning.jpg (aktualizace k 1. 4. 2013)
48. Heslop R. B., Jones K.: Anorganická chemie, SNTL, Praha, 1982
49. Pasch M. a kol.: Od vzdělávacího programu k vyučovací hodině, Portál, Praha, 1998; ISBN 80-7178-127-4
50. Chráška M.: Metody pedagogického výzkumu Základy kvalitního výzkumu, Granda, Praha, 2010; ISBN 978-80-247-1369-4
51. Průcha J.: Moderní pedagogika, Portál, Praha, 2002; ISBN 80-7178-631-4

VII. Přílohy

VII. 1 VZÁCNÉ PLYNY Základní verze

(Microsoft PowerPoint)

VII. 2 VZÁCNÉ PLYNY Rozšířená verze

(Microsoft PowerPoint)