

ZÁKLADNÍ ŠKOLA NOVÁ PAKA, HUSITSKÁ 1695

absolventská práce



CHEMICKÉ VLASTNOSTI PLYNŮ

Radek Jíša

Vedoucí absolventské práce: Mgr. Lukáš Rambousek

Předmět: Chemie

Školní rok: 2019 - 2020

Prohlašuji, že jsem absolventskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a materiálů. Všechny použité zdroje jsem citoval.

Souhlasím s tím, aby má absolventská práce byla k dispozici zájemcům o její studium.

V Nové Pace

dne 14. 06. 2020

Obsah:

1. Úvod	4
2. Vlastnosti plynů	4
2.1. Objem plynů	4
3. Oxid uhličitý (CO₂)	5
3.1. Příprava oxidu uhličitého	5
3.1.1. Výpočet chemické reakce	5
3.2. Vlastnosti oxidu uhličitého	8
4. Kyslík (O₂)	12
4.1. Příprava kyslíku	15
4.1.1. Výpočet elektrolýzy vody	15
4.2. Vlastnosti kyslíku	17
5. Vodík (H₂)	18
5.1. Příprava vodíku	19
5.2. Vlastnosti vodíku	19
6. Chlor (Cl₂)	19
6.1. Příprava chloru	20
6.1.1. Výpočet elektrolýzy solanky	20
6.2. Vlastnosti chloru	23
7. Dusík (N₂)	23
7.1. Vlastnosti dusíku	25
8. Závěr	25
8.1. Přehledová tabulka vlastností plynů	26
8.2. Poděkování	26
9. Seznam použité literatury a internetových zdrojů	27
10. Seznam obrázků	28
11. Seznam tabulek	29

1. Úvod

Moje absolventská práce je zaměřena na plyny. S plyny se setkáváme v běžném životě (např. při dýchání, v bazénu, při vaření) a tak mým cílem bylo se zaměřit na přípravu a vlastnosti vybraných plynů, které si může kdokoliv připravit doma z dostupných surovin.

2. Vlastnosti plynů

V chemii rozlišujeme tři skupenství: pevné, kapalné a plynné. Někdy jako čtvrté skupenství označujeme plazmu. Já jsem se zaměřil na plyn, skupenství, které má částice poměrně daleko od sebe. Plyny společně s kapalinami řadíme mezi tekutiny. Znamená to, že se dají přelévat z nádoby do nádoby. Tento jev ověřím v jednom z pokusů. Jejich důležité vlastnosti jsou stlačitelnost a rozpínavost. „Stlačitelnosti a rozpínavosti využíváme např. při huštění pneumatik nebo míče.”^[1] Rozpínavost značí, že nemají vlastní tvar ani objem. Obě vlastnosti mají plyny díky nádobám, ve kterých jsou uloženy. Částice se v nádobě volně pohybují a jsou mezi nimi velké vzdálenosti.

2.1. Objem plynů

Za normálních podmínek¹ je jeden mol² plynu 22,414 litru. Ale za podmínek IUPAC³ se udává, že jeden mol plynu se rovná přibližně 22,71 litru.

¹ normální podmínky - 0 °C, 101 325 Pa ^{[2], [3]}

² jeden mol = $6,023 \times 10^{23}$ atomů nebo molekul tzv. Avogadrova konstanta ^{[2], [3]}

³ podmínky podle Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii
- 0 °C, 100 000 Pa ^{[2], [3]}

3. Oxid uhličitý (CO₂)

První plyn, který jsem připravoval, má značku CO₂ a byl to oxid uhličitý, dříve nazývaný jako kysličník uhličitý. Oxid uhličitý je chemická sloučenina, která patří mezi oxidy. V laboratorních podmínkách⁴ je plynná látka. V pevném skupenství je nazývaný jako suchý led. Molekula oxidu uhličitého je tvořena jedním atomem uhlíku, na který jsou dvojnou vazbou vázány dva atomy kyslíku. „Je přirozenou součástí vzduchu (0,03 % objemu).”^[4] V roce 1993 bylo v atmosféře 0,03 % CO₂ v roce 2013 to bylo už 0,04 % CO₂. Tento plyn způsobuje skleníkový efekt, který má za následek globální oteplování. Vzniká dýcháním živých organismů a při hoření uhlíkatých látek za dostatečného množství kyslíku. Oxid uhličitý se používá při výrobě sody (Na₂CO₃), přípravě sodové vody a perlivých nápojů a k plnění hasicích přístrojů.

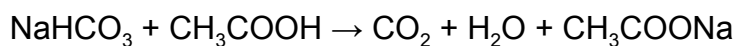
3.1. Příprava oxidu uhličitého

V laboratořích se oxid uhličitý běžně připravuje reakcí uhličitanu vápenatého (CaCO₃) s kyselinou chlorovodíkovou (HCl). Je naplněn v tlakových lahvích buď zkapalněný, označený černým pruhem, nebo v pevném skupenství jako chladicí prostředek. Já jsem ho doma připravoval reakcí jedlé sody (NaHCO₃) s octem [kyselinou octovou (CH₃COOH)]. Touto chemickou reakcí vznikne zmiňovaný oxid uhličitý, voda a octan sodný.

3.1.1. Výpočet chemické reakce

Tímto výpočtem zjistím, kolik vznikne CO₂, když použiji jednu polévkovou lžici NaHCO₃ (20g):

⁴ laboratorní podmínky - 20 °C, 101 325 Pa ^[4]



$$m_{\text{NaHCO}_3}^5 = 20 \text{ g}$$

$$n_{\text{CO}_2}^6 \doteq 0,24 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaHCO}_3} = n_{\text{CO}_2}$$

$$M_{\text{NaHCO}_3}^7 = 84 \text{ g/mol}$$

$$V_m^8 \doteq 22,4 \text{ l/mol}$$

$$n = m : M$$

$$n_{\text{NaHCO}_3} \doteq 0,24 \text{ mol}$$

$$\underline{V_{\text{CO}_2}^9 \doteq 5,4 \text{ l}}$$

$$V = V_m \cdot n$$

Z jedné polévkové lžice NaHCO_3 vznikne přibližně 5,4 l CO_2 .



Obrázek č. 1: Příprava pomůcek

Foto: autor

⁵ m = hmotnost

⁶ n = látkové množství

⁷ M = molární hmotnost

⁸ V_m = molární objem

⁹ V = objem



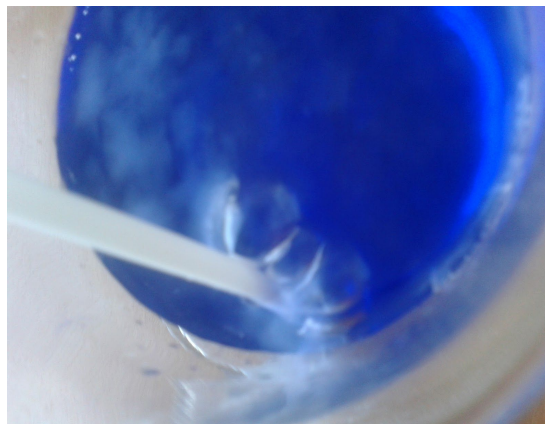
Obrázek č. 2: PET láhev uzpůsobena k přípravě plynů

Foto: autor



Obrázek č. 3: Sestavená aparatura k výrobě CO₂

Foto: autor



Obrázek č. 4: Vznikající CO_2 , který vytvořil bubliny

Foto: autor

3.2. Vlastnosti oxidu uhličitého

Pokusy jsem ověřil, že oxid uhličitý je plynná látka bez barvy, chuti a zápachu, proto člověk nijak nevnímá, zda je přítomný v okolním vzduchu. Je zajímavé, že i oxid uhličitý ve vyšších koncentracích může člověku způsobit smrt, protože většina lidí si myslí, že jedovatý je jen oxid uhelnatý (CO). Právě tyto vlastnosti oxidu uhličitého mohou být člověku nebezpečné. Zajímavé také bylo, že se může přelévat z nádoby do nádoby, protože má vyšší hustotu než vzduch. I toto je nebezpečné, hlavně v jeskyních, protože CO_2 zůstává na dně jeskyně, a proto do jeskyní nemohou např. psi.



Obrázek č. 5: *Hořící svíčka*

Foto: autor



Obrázek č. 6: *Reakce mezi octem a jedlou sodou*

Foto: autor



Obrázek č. 7: Svíčka zhasla díky vznikajícímu CO_2

Foto: autor

Oxid uhličitý nepodporuje hoření, a tak se používá jako náplň do hasicích přístrojů.



Obrázek č. 8: Přelévání CO_2 z PET lahve do kádinky

Foto: Lukáš Jíša



Obrázek č. 9: Lití CO_2 na svíčku, která zhasla

Foto: Lukáš Jíša

4. Kyslík (O₂)

Druhý plyn, který jsem připravoval, je chemický prvek nacházející se v VI. A skupině. Je nezbytný pro život. Nazýváme ho kyslík. Tento prvek se vyskytuje v několika alotropických modifikacích¹⁰. Nejběžnější se dikyslík - O₂, který se vyskytuje v atmosféře, kterou tvoří asi 21%. Další forma jsou kyslíkové radikály, které má každý v těle. Ozon, neboli trikyslík - O₃ je další forma kyslíku, která tvoří ozonovou vrstvu. Tato vrstva nás chrání před UV zářením, které částečně pohlcuje. Ještě existují další formy jako třeba pevný kyslík a oxozon, čtyřatomová sloučenina kyslíku tedy tetrakyslík - O₄. Kyslík je velmi reaktivní plyn, slučování s kyslíkem nazýváme hoření. Většinou jde o exotermickou reakci¹¹. Produkty této reakce jsou oxidy např.: oxid uhličitý (CO₂), oxid siřičitý (SO₂) atp. Kyslík je přítomen v mnoha organických i anorganických sloučeninách. Kyslík využívají potápěči a horolezci k dodání kyslíku.



Obrázek č. 10: Příprava pomůcek ke zjištění přítomnosti kyslíku ve vzduchu

Foto: autor

¹⁰ Alotropie je vlastnost chemického prvku označující jeho schopnost vyskytovat se v několika různých strukturních formách, které mají výrazně odlišné fyzikální vlastnosti.^[5]

¹¹ Exotermická reakce je reakce, při které se uvolňuje teplo.



Obrázek č. 11: Svíčky po přiklopení hoří - důkaz kyslíku ve vzduchu

Foto: autor



Obrázek č. 12: Vyšší svíčka zhasla, protože jí došel kyslík, místo něho vznikl CO_2

Foto: autor



Obrázek č. 13: Příprava pomůcek pro zjištění 21% kyslíku ve vzduchu

Foto: autor



Obrázek č. 14: Svíčka svítí, protože je přítomen kyslík 21% objemu lahve

Foto: autor



Obrázek č.15: Svíčka zhasla a místo kyslíku se do sklenice vlivem podtlaku vtlačila voda

Foto: autor

4.1. Příprava kyslíku

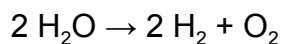
Kyslík se v průmyslu buď vyrábí destilací¹² zkapalněného vzduchu, nebo elektrolýzou¹³ vody. Při elektrolýze vzniká kyslík a vodík. Tento způsob přípravy jsem zvolil i já. V laboratoři se připravuje hlavně rozkladem hypermanganu (KMnO_4). Vyrobený kyslík se uchovává zkapalněný ve speciálních nádobách.

4.1.1. Výpočet elektrolýzy vody

Pomocí výpočtu spočítám kolik mi vznikne litrů kyslíku a vodíku, když použiji 100 ml vody:

¹² Destilace je metoda, kterou se oddělují kapalné složky směsi. Využíváme jejich rozdílnou teplotu varu.

¹³ Elektrolýza je chemicko-fyzikální jev, který způsobuje průchod kapalinou stejnosměrným elektrickým proudem chemické změny na elektrodách.



$$\begin{array}{llll}
 V_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ cm}^3 & n_{\text{H}_2} \doteq 5,5 \text{ mol} & n_{\text{O}_2} \doteq 2,75 \text{ mol} & m = \rho \cdot V \\
 \rho_{\text{H}_2\text{O}}^{14} \doteq 1 \text{ g/cm}^3 & V_m \doteq 22,4 \text{ l} & V_m \doteq 22,4 \text{ l} & n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2} \\
 m_{\text{H}_2\text{O}} \doteq 100 \text{ g} & V_{\text{H}_2} \doteq 123,2 \text{ l} & \underline{V_{\text{O}_2} \doteq 61,6 \text{ l}} & n_{\text{O}_2} = n_{\text{H}_2\text{O}} : 2 \\
 M_{\text{H}_2\text{O}} \doteq 18,1 \text{ g/mol} & & & \\
 n_{\text{H}_2\text{O}} \doteq 5,5 \text{ mol} & & &
 \end{array}$$

Ze 100 ml vody vznikne 61,6 l kyslíku a 123,2 l vodíku.



Obrázek č. 16: Příprava pomůcek na elektrolýzu vody

Foto: autor

¹⁴ ρ [ró] = hustota



Obrázek č. 17: Při elektrolýze začali na elektrodách vznikat bublinky

Foto: autor



Obrázek č. 18: Detail katody, na které vzniká vodík

Foto: autor

4.2. Vlastnosti kyslíku

Zaujalo mě, že kyslík je velmi reaktivní plyn. Když nějaká chemická látka reaguje s kyslíkem, tak to nazýváme hoření. Při hoření se uvolňuje velké množství

tepelné energie. Kyslíkové modifikace jsou velmi rozdílné, některá je pro život nezbytná, jiná zase nebezpečná. Dikyslík je nezbytný pro život, rostliny ho vyrábí při fotosyntéze z vody a oxidu uhličitého. Trochu ho potřebují sami a zbytek vypustí do atmosféry, odkud ho my můžeme dýchat. Naopak volné radikály způsobují v těle několik nemocí, hlavní je asi Alzheimerova choroba. Radikály také snižují množství antioxidantů v těle. Ozon je pro lidské tělo velmi nebezpečný. Způsobuje rozvoj nemocí dýchacích cest, třeba astmatu.

5. Vodík (H₂)

Vodík je třetí plyn, který jsem připravoval. Vodík tvoří dvouatomové molekuly H₂. Tento plyn tvoří nejvíce sloučenin - hydridy, hydroxidy, hydráty solí, kyslíkaté i bezkyslíkaté kyseliny, uhlovodíky i jejich deriváty¹⁵. Jeho nejznámější sloučeninou je voda. Jsou známy tři izotopy¹⁶ vodíku. Protium - ¹H je nejjednodušší a nejlehčí atom ve vesmíru. V přírodě se vyskytuje nejčastěji. Tento izotop tvoří 99,985 % všech atomů vodíku. Deuterium - ²H (někdy se označuje písmenem D) se vyskytuje jen v 0,015 % všech atomů vodíku. Tritium [trícium] - ³H (má také označení písmenem T) se v přírodě téměř nevyskytuje. Jeho jádro je nestabilní a rozpadá se, jeho poločas rozpadu je 12,33 roku. Vodík je velmi dobrým redukčním činidlem¹⁷, tuto přednost využívá hlavně metalurgie¹⁸ k získání kovů z rud. „Hoření vodíku s kyslíkem je silně exotermní a vyvíjí teploty přes 3 000 °C. Toho se běžně využívá při svařování nebo řezání kyslíko-vodíkovým plamenem.“^[7] Vodík se také používal jako plnidlo vzducholodí. Německá vzducholod' Hindenburg byla vodíkem naplněna a kvůli jeho třaskavosti vybuchla. Slunce využívá reakcí slučování deuteria a tritia, při kterém vzniká helium. „²H + ³H → ⁴He + ¹n“^[8]

¹⁵ „Deriváty uhlovodíků jsou organické sloučeniny obsahující kromě uhlíku a vodíku ještě jiné prvky.“^[6]

¹⁶ Izotopy jsou atomy, které mají stejný počet protonů, ale liší se počtem neutronů.

¹⁷ „Redukční činidlo je látka, která odevzdává elektrony jiné látce, redukuje ji a sama sebe oxiduje.“^[9]

¹⁸ Metalurgie, neboli hutnictví je výrobní odvětví zabývající se získáváním a zpracováním kovů.

5.1. Příprava vodíku

V přírodě vzniká rozkladem organických látek .V průmyslu se vodík vyrábí rozkladem zemního plynu [metanu (CH_4)] při teplotách kolem $1000\text{ }^\circ\text{C}$. Další možnost je již zmíněná elektrolýza, může být jen vody, nebo solanky¹⁹. V laboratoři se připravuje reakcí kovu a kyseliny. Nejčastěji zinku (Zn) s kyselinou chlorovodíkovou (HCl), ale lze i jinými kovy a kyselinami. Pro průmysl je vodík stlačený v ocelových lahvích s červeným pruhem.

5.2. Vlastnosti vodíku

Pomocí pokusů jsem ověřil, že vodík je bezbarvý plyn, který není ani nijak cítit. Hoří podobně jako síra namodralým plamenem, ale sám hoření nepodporuje. Je velmi lehký, může být až 14krát lehčí než vzduch. Velmi dobře vede teplo. V Beketovově řadě napětí kovů je vodík mezi ušlechtilými kovy (Au, Ag, Cu...) a neušlechtilými kovy (Al, Zn, Na...), to znamená, že se může oxidovat, nebo redukovat, podle toho jaký kov s kyselou (kyseliny obsahují kationty H^+) reagují.

6. Chlor (Cl_2)

Chlor je čtvrtý plyn, který jsem připravil. Je to velmi jedovatý plyn, proto jsem s ním byl opatrný, pokus jsem dělal venku, abych se nepřiotrávil. Chlor tvoří dvouatomové molekuly Cl_2 . Je to halogen, nachází se v VII.A skupině. Tvoří několik sloučenin, hlavně kyseliny a jejich soli. Jeho nejznámější sloučenina je chlorid sodný (kuchyňská sůl), který vzniká buď z kyseliny chlorovodíkové (HCl), nebo krystalizací z roztoků, nejčastěji mořských, ve kterých se nacházejí kationty Na^+ a Cl^- . Na Zemi je chlor přítomen jen ve sloučeninách, nikoli jako molekulární prvek, který se váže s druhým atomem chloru. Tyto sloučeniny jsou většinou rozpuštěny ve vodě. Plynný chlor byl použit za 1. světové války jako bojová látka. v současnosti se používá jako dezinfekce v bazénech.

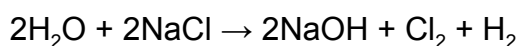
¹⁹ Solanka je směs vody a chloridu sodného (kuchyňské soli).

6.1. Příprava chloru

V laboratoři se chlor připravuje elektrolýzou solanky. V průmyslu se také vyrábí touto metodou, je to vedlejší produkt při výrobě hydroxidu draselného (KOH) nebo sodného (NaOH), který se používá k čištění odpadů.

6.1.1. Výpočet elektrolýzy solanky

Pomocí výpočtu mohu zjistit, kolik mi vznikne chloru ze dvou lžiček soli (16 g) :

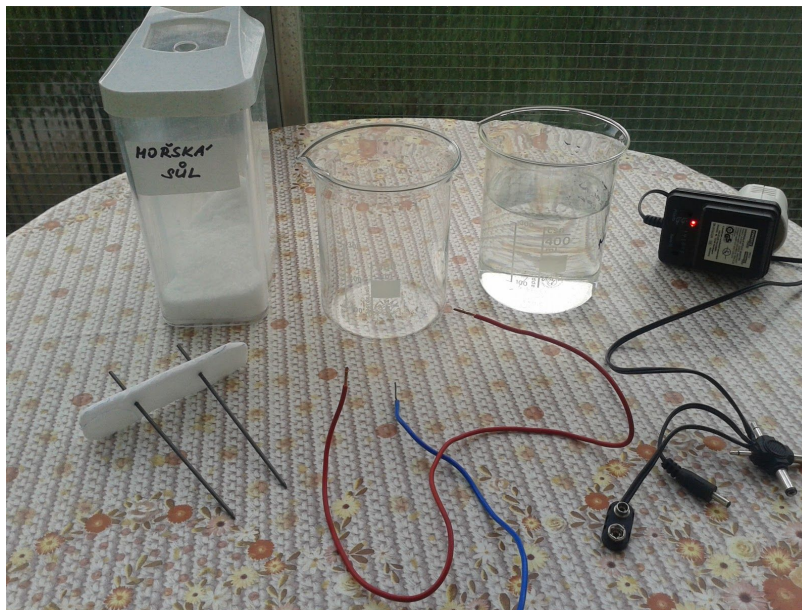


$m_{\text{NaCl}} = 16 \text{ g}$	$n_{\text{Cl}_2} \doteq 0,15 \text{ mol}$	$n_{\text{Cl}_2} = n_{\text{NaCl}} : 2$
$M_{\text{NaCl}} \doteq 58,4 \text{ g/mol}$	$V_m \doteq 22,4 \text{ l/mol}$	$n_{\text{Cl}_2} = n_{\text{H}_2}$
$n_{\text{NaCl}} \doteq 0,3 \text{ mol}$	<u>$V_{\text{Cl}_2} \doteq 3,36 \text{ l}$</u>	$V = V_m \cdot n$
		$n = m : M$

$$n_{\text{H}_2} \doteq 0,15 \text{ mol}$$

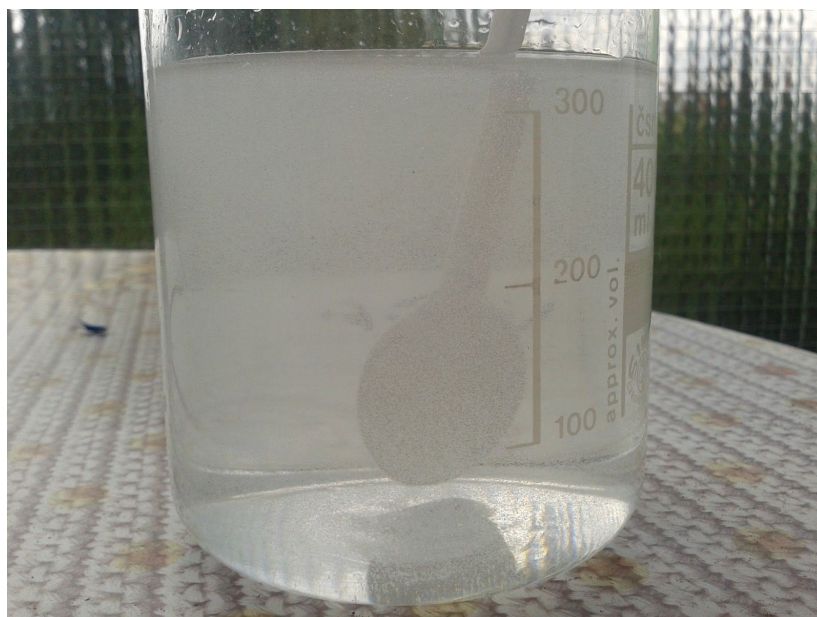
$$\underline{V_{\text{H}_2} \doteq 3,36 \text{ l}}$$

Ze dvou lžiček soli vznikne přibližně 3,36 l chloru a stejné množství vodíku.



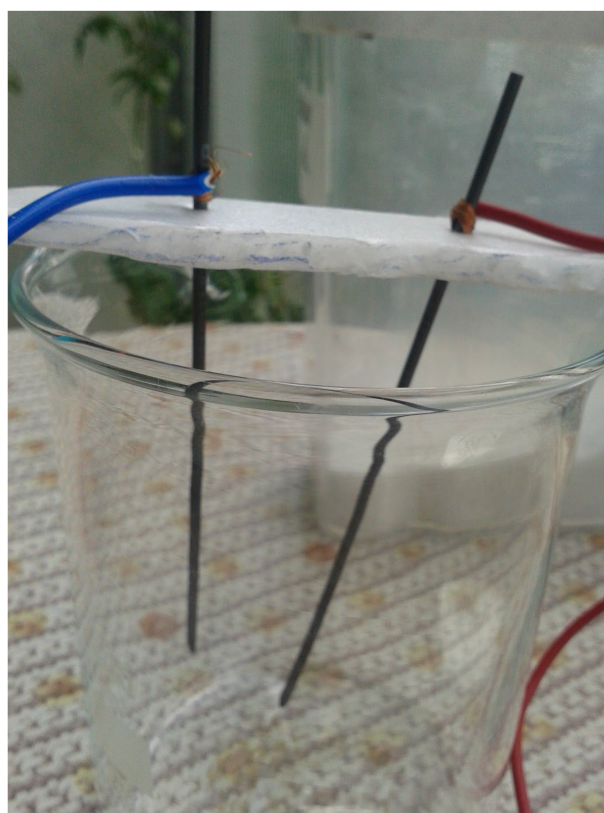
Obrázek č. 19: Pomůcky na elektrolýzu solanky

Foto: autor



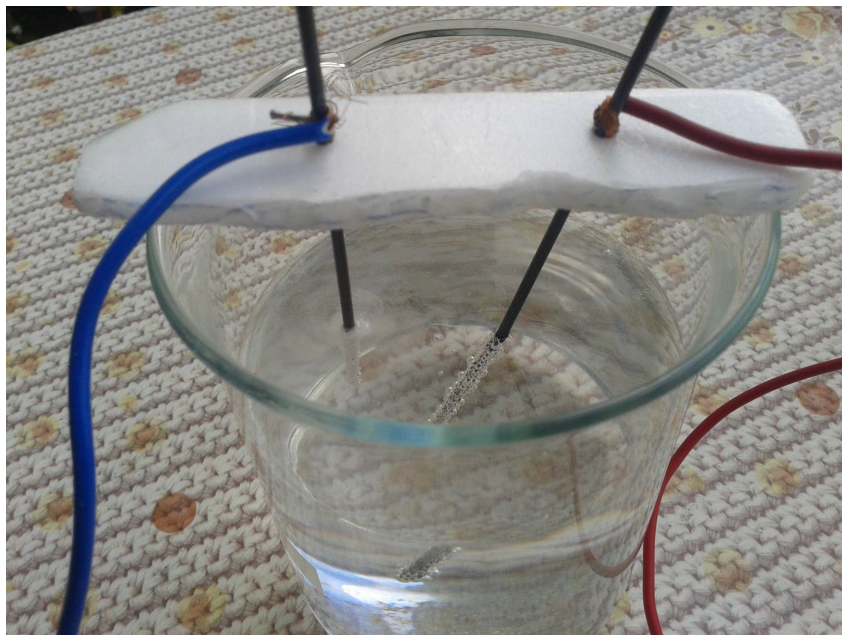
Obrázek č. 20: *Připravená solanka*

Foto: autor



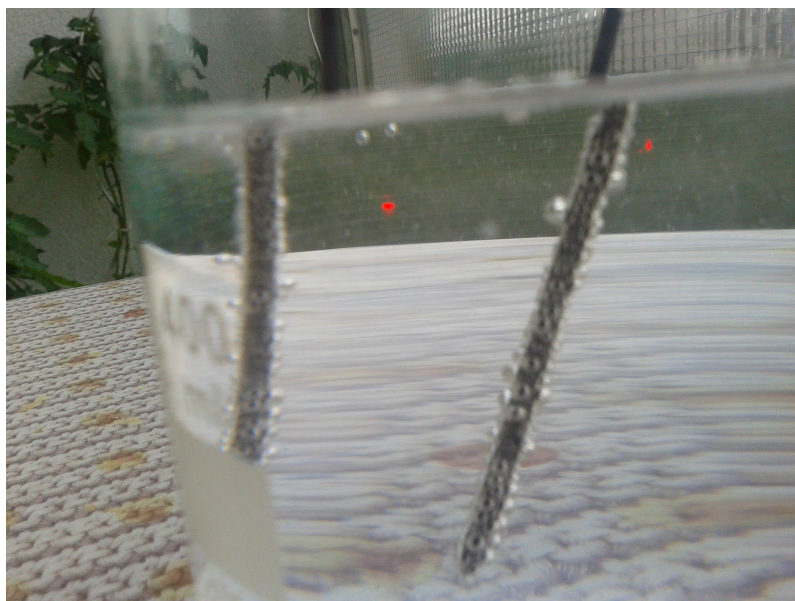
Obrázek č. 21: *Připravené uhlíkaté elektrody*

Foto: autor



Obrázek č. 22: Na elektrodách začaly vznikat bublinky plynů - na anodě chlor a na katodě vodík

Foto: autor



Obrázek č. 23: Detail elektrod

Foto: autor

6.2. Vlastnosti chloru

Tento plynný prvek je velmi toxický, poleptává sliznice. Molekulární chlor má světle zelenou barvu. Během elektrolýzy vody jsem ucítil i jeho velmi specifický zápach. I sloučeniny s chlorem jsou jedovaté, výjimku tvoří pouze chlorid sodný (NaCl), který ale ve vyšším množství může způsobit infarkt myokardu.

7. Dusík (N₂)

Poslední plyn, o kterém budu psát je dusík. Tento plyn jsem nepřipravoval, ale přidal jsem ho sem, protože je hlavní složkou atmosféry, kde tvoří 78%. Je také jeden z několika biogenních prvků²⁰, takže se vyskytuje i v lidském těle. Dusík tvoří dvouatomové molekuly N₂, které jsou spojeny trojnou vazbou, která je velmi pevná a nechce za standardních podmínek reagovat, takže dusík je inertní plyn²¹. Sloučenin s dusíkem je velká řada, dusík tvoří kyseliny a jejich soli, je obsažen i sacharidech, lipidech a proteinech. Další sloučeniny jsou organické např. aminokyseliny. Dusíkaté sloučeniny, které mohou způsobit velké problémy, jsou oxidy dusíku. Jeho nejjedovatější oxid je oxid dusičitý, který má hnědočervenou barvu. Dusík je také v hnojivech a výbušninách. Dočetl jsem se, že v laboratořích se dusík připravuje zahříváním roztoku dusitanu amonného (NH₄NO₂) nebo směsi roztoku chloridu a dusitanu amonného (NH₄Cl, NH₄NO₂). V průmyslu se dusík vyrábí destilací vzduchu, kde se oddělí jednotlivé složky od sebe.

²⁰ „Biogenní prvky jsou prvky nezbytné pro život, tzv. životatvorné.”^[10]

²¹ Inertní plyny reagují s jinými atomy nebo molekulami jen za vysokého tlaku a vysokých teplot.



Obrázek č. 24: Tlaková láhev s plynným dusíkem

Foto: Jiří Jíša



Obrázek č. 25: Detail etikety na tlakové lahvi

Foto: Jiří Jíša

7.1. Vlastnosti dusíku

Jak jsem již zmínil, dusík je inertní plyn. Nemá žádnou chuť ani zápach. Není nijak toxický, jen ve větším množství může být dusivý. Přečetl jsem si, že rostliny dusík využívají k růstu, proto je součástí hnojiv.

8. Závěr

Tématem mé absolventské práce byly chemické vlastnosti plynů. Abych mohl vlastnosti popsat, musel jsem si nejdříve plyny připravit. U oxidu uhličitého šli i jeho vlastnosti ověřit pokusy, to u jiných plynů nešlo. U kyslíku jsem mohl ověřit, že se v atmosféře vyskytuje 21%. Přípravou jsem zjistil, že se všechny plyny nepřipravují stejně, a že jejich vlastnosti také nejsou stejné. Všechny vlastnosti i přípravu plynů jsem shrnul v tabulce (viz přehledová tabulka vlastností plynů).

8.1. Přehledová tabulka vlastností plynů

Přehledová tabulka vlastností plynů					
vzorec	CO ₂	O ₂	H ₂	Cl ₂	N ₂
český název	oxid uhličitý	kyslík	vodík	chlor	dusík
vlastnosti, výroba					
vzhled	bez barvy	bez barvy	bez barvy	světle zelená barva	bez barvy
zápach	ne	ne	ne	ano	ne
reaktivita	nízká	velmi vysoká	vysoká	vysoká	žádná
hořlavost	nepodporuje hoření	způsobuje hoření	ano	ne	ne
hustota (porovnání se vzduchem)	větší	menší	menší	menší	menší
příprava/výroba plynů	reakce soli s kyselinou	elektrolýza vody, destilace zkapalněného vzduchu	elektrolýza vody, solanky	elektrolýza solanky	destilace zkapalněného o vzduchu, zahřívání dusíkatých solí
potencionální nebezpečí	ve větším množství jedovatý	O ₂ - pro život potřebný O ₃ - nebezpečný	neškodný	jedovatý - poleptává sliznice	ve větším množství dusivý

Tabulka č. 1: Přehledová tabulka vlastností plynů

8.2. Poděkování

Rád bych ještě touto cestou poděkoval vedoucímu práce Mgr. Lukáši Rambouskovi za svěřením školních pomůcek na pokusy, cenné rady a připomínky, které mi hodně pomohly při vytváření této práce. Dále rodičům, že mě nechali doma pokusy uskutečnit a taťkovi za fotky tlakové láhve.

9. Seznam použité literatury a internetových zdrojů

- [1] Fyzika pro 6. ročník, Kolářová R., Bohuněk J., Prometheus 2018
- [2] Wikipedia, Plyn, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Plyn>
- [3] Wikipedia, Standardní teplota a tlak, https://cs.wikipedia.org/wiki/Standardn%C3%AD_teploata_a_tlak
- [4] Základy chemie 1. díl, Beneš P., Pumpr V., Banýr J., FORTUNA 1993
- [5] Wikipedia, Alotropie, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Alotropie>
- [6] Základy chemie 2. díl, Beneš P., Pumpr V., Banýr J., FORTUNA 1995
- [7] Wikipedia, Vodík, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>
- [8] Fyzika pro 9. ročník, Kolářová R., Bohuněk J., Štoll I., Svoboda M., Wolf M., Prometheus 2003
- [9] Wikipedia, Redukční činidlo, https://cs.wikipedia.org/wiki/Reduk%C4%8Dn%C3%AD_%C4%8Dinidlo
- [10] Wikipedia, Biogenní prvky, https://cs.wikipedia.org/wiki/Biogenn%C3%AD_prvky

10. Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Příprava pomůcek (Foto: autor).....	6
Obrázek č. 2: PET láhev uzpůsobena k přípravě plynů (Foto: autor).....	7
Obrázek č. 3: Sestavená aparatura k výrobě CO ₂ (Foto: autor).....	7
Obrázek č. 4: Vznikající CO ₂ , který vytvořil bubliny (Foto: autor).....	8
Obrázek č. 5: Hořící svíčka (Foto: autor).....	9
Obrázek č. 6: Reakce mezi octem a jedlou sodou (Foto: autor).....	9
Obrázek č. 7: Svíčka zhasla díky vznikajícímu CO ₂ (Foto: autor).....	10
Obrázek č. 8: Přelévání CO ₂ z PET lahve do kádinky (Foto: Lukáš Jíša).....	11
Obrázek č. 9: Lití CO ₂ na svíčku, která zhasla (Foto: Lukáš Jíša).....	11
Obrázek č. 10: Příprava pomůcek ke zjištění přítomnosti kyslíku ve vzduchu (Foto: autor).....	12
Obrázek č. 11: Svíčky po přiklopení hoří - důkaz kyslíku ve vzduchu (Foto: autor).....	13
Obrázek č. 12: Vyšší svíčka zhasla, protože jí došel kyslík, místo něho vznikl CO ₂ (Foto: autor).....	13
Obrázek č. 13: Příprava pomůcek pro zjištění 21% kyslíku ve vzduchu (Foto: autor).....	14
Obrázek č. 14: Svíčka svítí, protože je přítomen kyslík 21% objemu lahve (Foto: autor).....	14
Obrázek č. 15: Svíčka zhasla a místo kyslíku se do sklenice vlivem podtlaku vtláčila voda (Foto: autor).....	15
Obrázek č. 16: Příprava pomůcek na elektrolýzu vody (Foto: autor).....	16
Obrázek č. 17: Při elektrolýze začali na elektrodách vznikat bublinky (Foto: autor).....	17
Obrázek č. 18: Detail katody, na které vzniká vodík (Foto: autor).....	17
Obrázek č. 19: Pomůcky na elektrolýzu solanky (Foto: autor).....	20
Obrázek č. 20: Připravená solanka (Foto: autor).....	21
Obrázek č. 21: Připravené uhlíkaté elektrody (Foto: autor).....	21
Obrázek č. 22: Na elektrodách začaly vznikat bublinky plynů - na anodě chlor a na katodě vodík (Foto: autor).....	22
Obrázek č. 23: Detail elektrod (Foto: autor).....	22
Obrázek č. 24: Tlaková láhev s plynným dusíkem (Foto: Jiří Jíša).....	24
Obrázek č. 25: Detail etikety na tlakové lahvi (Foto: Jiří Jíša).....	24

11. Seznam tabulek

Tabulka č. 1: <i>Přehledová tabulka vlastností plynů</i>	25
--	----