



PRACOVNÍ LIST

Raketové motory

Autor: **Jakub Štěpánek**, *VŠCHT Praha, Otevřená Věda AV ČR*

Revize: **Mgr. Monika Klusáčková Ph.D.**, *ÚFCH J. Heyrovského*
Tomáš Ovad, *VŠCHT Praha, PřF UK*

Obsah pracovního listu:

OBECNÁ TEORIE	2
Důkaz vzniku plynů	3
TEORIE.....	4
PRAXE.....	5
Octová raketa	7
TEORIE.....	8
PRAXE.....	9
REKAPITULACE.....	10
Lihová raketa	11
TEORIE.....	12
PRAXE.....	13
REKAPITULACE.....	14
Vodíková raketa	15
TEORIE.....	16
PRAXE.....	17
REKAPITULACE.....	18



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Akademie věd ČR hledá mladé vědce
OTEVŘENÁ VĚDA
AKADEMIE VĚD ČR



Ústav fyzikální chemie
J. Heyrovského



OBEČNÁ TEORIE

Snad každý již někdy slyšel, že **raketa funguje na principu třetího Newtonova zákona – akce a reakce**. Ten říká, že proti každé akci působí vždy stejná reakce opačného směru - to je například důvod, proč když bouchnete rukou do zdi, tak vás pak pěkně bolí. Spousta lidí ale tento zákon nedokáže aplikovat na raketu. Reakce je jasná – raketa se uvede do pohybu, ale akce? Hned na úvod uvedeme domněnku, kterou tímto pracovním listem budeme dokazovat, a to, že **akcí je prudký nárůst plynů**, které pod tlakem tryskají z motoru rakety.

Chemické raketové motory si pro účely tohoto listu rozdělíme do tří typů. První typ – raketa chemickou cestou "pouze" vytvoří v relativně krátkém časovém úseku velký objem plynů. Příkladem může být obyčejná octová raketa. Za druhý typ bychom mohli označit motory využívající nárůstu teploty, čímž se zvýší objem plynu, který následně unikne tryskou. V tomto případě se příklad hledá těžce, jelikož se rakety nejčastěji vyskytují v podobě třetího typu – raketových motorů, které chemickou cestou vytvářejí jak plynné látky, tak vysokou teplotu. To jsou všechny nám známé raketové motory s využitím spalování – ohně.

Upozornění – **všechny experimenty provádějte pod dohledem zletilé osoby a s využíváním ochranných pomůcek (ochranné brýle, nehořlavé rukavice, plášť)**. Jak na domácí ochranné pomůcky se dozvíte zde:

https://www.youtube.com/watch?v=Cz3ejzZoSgU&list=PLFrGuvXvjnQM3YY1RCpg6OQ3D1XPL-6lM&index=2&ab_channel=V%C5%A0CHTPraha-UCTPrague .



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Akademie věd ČR hledá mladé vědce
OTEVŘENÁ VĚDA
AKADEMIE VĚD ČR



Ústav fyzikální chemie
J. Heyrovského



EXPERIMENT č. 1:

Důkaz vzniku plynů



TEORIE

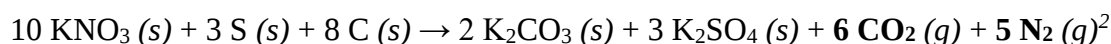
Pevné látky, kapaliny, plyn, plasma... Čtyři základní skupenství našeho světa. Každé z nich má specifické vlastnosti, ale nás teď bude zajímat jedna konkrétní – hustota.

- Pevné látky – částice jsou v krystalové mřížce "pevně" natěsnané k sobě.
- Kapaliny – částice nejsou v krystalové mřížce, ale silově na sebe působí.
- Plyny – částice jsou velice vzdálené od sebe, takže na sebe silově nepůsobí.
- Plasma – dochází k odtržení elektronů od jader atomu – vzniká ionizovaný plyn.

Představte si 1 kg plynného dusíku, následně 1 kg kapalného dusíku a pak 1 kg *pevného* dusíku. Ve kterém skupenství bude mít nejmenší hustotu, a tedy největší objem? Samozřejmě že v plynném. Ještě **větší objem by však měl ve stavu plasmy**. Možná vás zarazil pevný *dusík*, ale je to tak – i dusík může za určitých podmínek existovat v pevné formě. Podmínky, o kterých mluvíme, jsou velice nízká teplota (-210,01 °C což je 63,14 K¹), nebo pokojová teplota a opravdu extrémní tlak. Hlavní roli ve skupenství látky tedy hrají dva faktory, a to **teplota a tlak**.

Jelikož tlak se v atmosféře takže nemění, zaměříme se na teplotu. Faktem totiž je, že u většiny látek platí nepřímá úměra: „**čím vyšší teplota, tím nižší hustota**“. Pro výjimky však nemusíme chodit daleko – obyčejná voda se vymyká vlastností, že při teplotě 4 °C má vyšší hustotu než jako led (*proto taký led plave na kapalně vodě*). Ve větším měřítku to ale lze tolerovat, jelikož při teplotě 500 °C bude mít rozhodně nižší hustotu než při 0 °C.

Ohňostrojoyé rakety fungují na bázi střelného prachu. Ten se skládá z dusičnanu draselného (*okysličovadlo = teplem se rozkládá na kyslík*), síry (*zážehové palivo*) a dřevěného uhlí (*palivo*). Při jeho spalování vzniká spousta plynů jako je oxid siřičitý (SO₂) a zároveň i teplo, které nám ještě více zvětší objem vzniklých plynů dle následující rovnice.



Právě na hoření střelného prachu si v prvním pokusu dokážeme tvorbu plynů a jejich zahřátí vznikajícím teplem.

¹Kelvin", jednotka termodynamické teploty, jejímž jediným rozdílem od stupnice celsiovské je, že 0 K odpovídá tzv. absolutní nule -273,15 °C – nedosažitelné teploty, kdy se částice v látkách „přestanou“ hýbat.

²Písmena v závorkách u chemických sloučenin upřesňují jejich skupenství: (s) – pevný, (l) – kapalný, (aq) – rozpuštěný v rozpouštědle, (g) – plynný.



PRAXE

Pomůcky:

- KNO_3 (4 g) = dusičnan draselný, či také sanytr
- dřevěné uhlí (1 g)
- třecí souprava
- stojan/držák na zkumavku a nehořlavé rukavice
- skleněná zkumavka (bez zahnutého okraje u ústí)
- kahan
- alobalová fólie
- lžička
- izolepa

Postup:

Pro demonstrační účel je nejvýhodnější vytvářet tzv. "trhací střelný prach", který na rozdíl od známějšího puškového neobsahuje síru a po shoření nezapáchá.

Ze všeho nejdříve si připravíme onen *trhací* střelný prach. Poměr surovin musí být 80 % KNO_3 : 20 % dřevěného uhlí dle hmotnosti. Dřevěné uhlí lze získat z ohniště, nebo klasicky v obchodě na grilování – *pozor, zuhelnatělé brikety ani aktivní uhlí³ z lékárny nefungují*. Pro účely demonstrace bude stačit menší dávka střelného prachu z cca 4 g KNO_3 a 1 g dřevěného uhlí. Obě pečlivě odvážené látky rozetřeme zvlášť pomocí tloučku v třecí misce. S tímto úkonem si dáváme opravdu záležet, jelikož potřebujeme velmi jemný prášek → rychlé spalování.

V dalším kroku sestavíme stojan, do kterého uchytíme zkumavku s cca 0,5 g střelného prachu. Celkový důkaz vzniku plynů bude spočívat ve vystřelení *alobalové čepičky* v důsledku vznícení prachu. Z alobalové fólie si vystříhneme čtverec, který zpevníme dvojím přeložením (vznikne 4x menší čtverec). Na ústí zkumavky velice opatrně umístíme čtverec a přehnutím stran dolů nám vznikne ze čtverce něco jako druhá *zkumavka (čepička)*, kterou obtočíme menším množstvím izolepy. Snažíme se však, aby se alobal po zkumavce mohl pohybovat, ale zároveň kladl při posunu menší odpor.

Zkumavku začneme pomocí kahanu zahřívat hrdlem od sebe, až se vznítí střelný prach.

Alobalová čepička by měla v důsledku vzniku plynů a jejich zahřátí vylétnout ke stropu.

³ Aktivní uhlí je forma uhlíku, jehož povrch byl uměle zvětšen působením vysoké teploty a tlaku. Vzhledem k jeho pórovitosti je velmi dobrý k vázání molekul, což z něj dělá dokonce účinný nástroj první pomoci při požití toxické látky.



REKAPITULACE

1. Dusičnan draselný je v potravinářství označován jako

- a) kalcit
- b) sanytr
- c) halit

2. Důvodem vzletu alobalové čepičky je

- a) pouze vznik plynů
- b) vznik plynů a uvolnění tepla
- c) prudkost reakce

3. Tepelným rozkladem dusičnanu draselného vzniká/vznikají

- a) draslík
- b) hořlavé výpary
- c) kyslík

4. Dřevěné uhlí je součástí střelného prachu jako

- a) palivo
- b) iniciátor hoření
- c) okysličovadlo

5. Dobrou náhradou za dřevěné uhlí je aktivní uhlí.

ANO – NE

6. Látka ve formě plasmy zabírá větší objem než jako plyn.

ANO – NE

7. Vzorec dusičnanu draselného je KNO_4 .

ANO – NE

8. Ve speciálních laboratořích lze dosáhnout tzv. *absolutní nuly*, kdy se částice látky „nehýbou“.

ANO – NE



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Akademie věd ČR hledá mladé vědce
OTEVŘENÁ VĚDA
AKADEMIE VĚD ČR



Ústav fyzikální chemie
J. Heyrovského



EXPERIMENT č. 2:

Octová raketa



TEORIE

Ocet je v potravinářství velice důležitou látkou. Produkt, který normálně v domácnosti máte, je přibližně 5% **roztok kyseliny octové** (CH_3COOH). **Jedlá soda** (NaHCO_3 = *hydrogenuhlíčitan sodný*) je též v potravinářství velice využívaná sůl kyseliny uhličitě (H_2CO_3). I přestože je to **sůl kyseliny**, tak se díky sodíku chová jako zásada. Používá se proto při pálení žáhy (*neutralizuje žaludeční kyseliny*).

Nicméně pokud se tyto dvě substance smísí, proběhne *acidobazická reakce*⁴, na jejímž konci bude octan sodný (CH_3COONa), voda (H_2O) a **oxid uhličitý** (CO_2).



Průběh této reakce můžeme pozorovat jako "šumění".

Jak tuto reakci použijeme k pohonu naší rakety? Celkem snadno – půjde nám o **plynný oxid uhličitý, který zabírá větší objem než reaktanty na počátku**. Pokud tedy tato reakce proběhne uvnitř uzavřené nádoby, zvýší se v ní tlak – a to klidně až tak, že exploduje. My využijeme rychlého kontrolovaného "*odpuštění*" plynu. Tohoto procesu dosáhneme obyčejnou zátkou, která bude při určitém tlaku vytlačena, a tedy nedojde k roztrhnutí nádoby. Následně se uvolní plyný CO_2 v podobě velkého množství částic, které chtějí být co nejdál od sebe, a ty dle zákona akce a reakce vynesou naši nádobu (tubu) vzhůru.

⁴ Chemická reakce látky kyselé a bazické, během které vzniká sůl kyselé látky a velmi často i voda. Pokud po reakci vzniklý roztok má neutrální pH (není kyselý ani zásaditý), jednalo se zároveň o reakci neutralizační.

⁵ Kyselina octová ve všech našich pokusech bude vystupovat jen jako vodný roztok – ocet. Z toho důvodu u ní uvádíme (aq) namísto (l).



PRAXE

Pomůcky:

- ocet (20 ml)
- jedlá soda (2 g)
- tuba (od produktu např. ACC)
- papírová utěrka (kapesník)
- nůžky
- plastová vana

Postup:

Do připravené tuby nalijeme přibližně 20 ml octa. Následně si z papírové utěrky (kapesníku) vystříháme čtvereček o rozměrech cca 10 cm × 10 cm. Do jeho středu nasypeme 15 g jedlé sody a přehneme tak, aby nám vznikl trojúhelník, který od nejdelší strany začneme rolovat. Výsledkem je tvar "doutníku", jehož špičky pak dáme k sobě. Vzniklý "balíček" zasuneme vyboulenější částí do tuby a zazátkujeme. K chemické reakci dojde po otočení tuby vzhůru nohama a jejím náhledném položení do plastové vany.



REKAPITULACE

1. Ocet je zředěný roztok

- a) kyseliny
- b) zásady
- c) látky s neutrálním pH

2. Jedlá soda je chemickým názvem

- a) hydroxid sodný
- b) uhličitan draselný
- c) hydrogenuhličitan sodný

3. Důvodem vzletu rakety využívající reakci jedlé sody a octu je

- a) vznik vysoké teploty
- b) vznik plynu
- c) vznik plynu a vysoké teploty

4. Produktem způsobující vzlétnutí rakety je oxid uhličitý.

ANO – NE

5. Během reakce octa a jedlé sody vznikají tři produkty.

ANO – NE

6. Reakce CH_3COOH a NaHCO_3 se označuje jako reakce acidobazická.

ANO – NE



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Akademie věd ČR hledá mladé vědce

OTEVŘENÁ VĚDA

AKADEMIE VĚD ČR



Ústav fyzikální chemie
J. Heyrovského



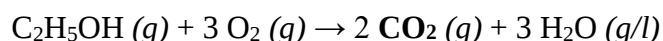
EXPERIMENT č. 3:

Lihová raketa



TEORIE

Líh je druhým nejjednodušším alkoholem organické chemie. Systematicky se nazývá **ethanol** ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, podle Pravidel českého pravopisu také „*etanol*“) a je hlavní součástí alkoholických nápojů. Možná už jste byli i svědky "flambování" pokrmů pomocí rumu. Toto vznícení bylo důsledkem přítomnosti ethanolu, **jehož výpary jsou vysoce hořlavé**. Opravdu důležité je slovo "výpary". Žádná kapalina totiž sama o sobě nehoří. Hoří pouze v plynném skupenství (či jako *aerosol* = rozptýlená ve vzduchu) se vzduchem. Jak se ale může kapalina měnit v plyn? Celkem snadno. Za teploty vyšší, než je teplota tání se kapalina konstantně odpařuje ze svého povrchu. Pro jistotu zdůrazňuji, že **bod varu je teplota, při které dochází k vypařování z celého objemu** (ne pouze z povrchu). V plynném skupenství je následně ethanol hořlavý, jelikož se velice snadno oxiduje kyslíkem podle následující rovnice.



Opět vzniká oxid uhličitý s vodou, ale mimoto vzniká také obrovské množství energie ve formě tepla, které částečně přemění vodu v páru. A jak jsme si už vysvětlili v úvodu, vyšší teplota nám způsobí i větší objem. Tyto horké unikající plyny jsou naším motorem.



PRAXE

Pomůcky:

- líh technický (20 ml)
- saturna (= vlasec)
- potravinářská slámka (= brčko)
- PET lahev 0,5 l
- 2× víčko od PET lahve
- izolepa
- nůžky
- nádobka na odpadní líh
- zdroj ohně, špejle

Postup:

Do připravené PET lahve nalijeme 30 ml technického lihu. Láhev uzavřeme víčkem a důkladně protřepeme. Po minutě třepání velice opatrně otáčíme s lahví tak, aby všechny její vnitřní strany byly pokryty vrstvičkou lihu. V druhém z připravených víček uděláme pomocí nůžek díru o průměru cca 1 cm. Vzniklý otvor pevně přelepíme proužkem izolepy, avšak dbáme, abychom byli schopni izolepu znovu odlepit. Láhev odzátkujeme a přebytečný líh z ní vylijeme do připravené nádobky. Následně ze vzdálenosti 5 cm do lahve prudce foukneme (*je třeba zředit výpary v lahvi, jinak by nedošlo ke vznícení – bez kyslíku přece výpary nehoří*) a zazátkujeme víčkem s dírou utěsněnou izolepou. Poté si ustříhneme cca 9 cm potravinářské slámky (= brčka), které přilepíme zvenku na delší stranu lahve.

Slámkou pak z jedné strany protáhneme vlasec, který uvážeme k pevnému bodu, např. trubce. Druhý konec natahujeme k druhému pevnému bodu, kde vlasec začneme natahovat a následně upevníme, aby zůstal napnutý.

PET lahev posuneme ústím k bodu uvázání, a velice opatrně odstraníme izolepu z víčka. Následně se přiblížíme k otvoru s otevřeným ohněm (*nejlépe hořící špejli*), načež se výpary vznítí a raketa odletí na druhý konec vlasce.



REKAPITULACE

7. Orosení PET lahve po zapálení výparů způsobuje

- a) rozdílná teplota
- b) vznikající voda
- c) kondenzující kouř

8. Láh je jednou z nejjednodušších sloučenin

- a) organické chemie
- b) anorganické chemie
- c) analytické chemie

9. Ethanol je součástí

- a) sycených nápojů
- b) energetických nápojů
- c) alkoholických nápojů

10. Aerosol je označení pro

- a) kapalinu rozptýlenou v plynu
- b) výpary
- c) sůl ve formě roztoku

11. Kapaliny hoří samy o sobě.

ANO – NE

12. Bod varu je teplota, při které se z celého objemu kapaliny uvolňují výpary.

ANO – NE

13. Voda, vznikající při spalování, se nepodílí na pohonu rakety.

ANO – NE

14. Prudké fouknutí do PET lahve způsobuje okysličení směsi.

ANO – NE



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Akademie věd ČR hledá mladé vědce
OTEVŘENÁ VĚDA
AKADEMIE VĚD ČR



Ústav fyzikální chemie
J. Heyrovského



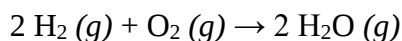
EXPERIMENT č. 4:

Vodíková raketa



TEORIE

Ve vesmíru je dost nepraktické používat pevná paliva jako motory – špatně se s nimi pracuje. Naproti tomu **kapaliny či plyny se velice lehce přemísťují do spalovací komory**. Vesmírné rakety jsou známy tím, že využívají jako **palivo obyčejný vodík a okysličovadlo kyslík**, které se předem zkapalňují kvůli šetření místem. Díky důmyslnému systému se před spálením změni jejich skupenství na plynné (*zároveň chladí kov motoru, aby se neroztavil*), a v této podobě již fungují jako palivo. Jak to ale přesně funguje? Podívejme se na rovnici spalování vodíku a kyslíku.



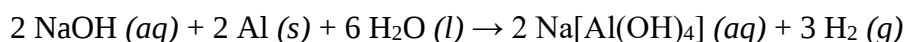
Při této reakci se zformuje voda. To ale není nejdůležitější fakt! Je třeba se ještě podívat na energetickou změnu proběhnutím reakce.

$$\Delta H [\text{delta há}] = -483,6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

***Poznámka:** Řecké písmeno delta (Δ) má spoustu významů. V tomto případě ale označuje "změnu". Písmeno "H" zas se v tomto případě označuje jako "entalpie" = stavová veličina, která popisuje výměnu tepla s okolím. Nás však zajímá pouze to, že ΔH může být kladná či záporná. Pokud je kladná, tak musíme do reakce teplo dodávat (= reakce endotermická), naopak pokud je záporná, tak nám teplo vzniká (= reakce exotermická).*

Z hodnoty entalpie je vidět, že se jedná o **reakci exotermickou** – teplo se uvolňuje, a to opravdu hodně. Výsledkem je, že všechna **vznikající voda je v plynném skupenství** a má tak ještě větší objem. Tedy *velmi horká vodní pára* je pohonem rakety.

Pro provedení našeho experimentu budeme využívat skutečnosti, že kyslík je přítomný přímo ve vzduchu (*do vesmíru si ho musí raketa nést sama z důvodu vzduchoprázdna*). Potřebujeme proto pouze vytvořit vodík. My využijeme jednoduché reakce hydroxidu sodného,lobalové fólie a vody.



Tato reakce je také exotermická, takže se bude reakční baňka silně zahřívat!



PRAXE

Pomůcky:

- alobalová fólie (1 g)
- NaOH (= *hydroxid sodný; sodný louh, natron*) (10 g)
- voda
- skleněná baňka
- malá kádinka
- kartonový čtverec
- hliníková plechovka
- izolepa
- špejle
- zápalky

Postup:

Při tomto pokusu vždy používáme rukavice a ochranný štít! Nenaklánějte se nad raketu!

Jako první odstříhneme vrch hliníkové plechovky, která bude fungovat jako rakety. Zároveň do jejího spodku pomocí hřebíku/nůžek vytvoříme malý otvor – v tomto místě budeme raketu zapalovat. Otvor zalepíme lepící páskou, ale tak, abychom ji mohli dle potřeby strhnout.

Do baňky odsypeme 10 g hydroxidu sodného (*ke koupi ve formě šupinek na čištění vodovodního odpadu*) a přidáme několik proužků alobalové fólie. Samotná reakce začne po přidání vody.

Ve chvíli zahřátí baňky a změny barvy roztoku (*vzniká černá komplexní sloučenina tetrahydroxidohlinitan sodný⁶*) mírně nasuneme na baňku plechovku, a naplníme ji vodíkem.

Když začne plyn vytékat zespod plechovky (*vodík je lehčí než vzduch, proto bude utíkat vzhůru*), plechovku opatrně umístíme na kartonový čtverec tak, aby z části byla na čtverci a z části na spodní podložce. V důsledku tohoto uspořádání vznikla mezera, kterou bude vstupovat kyslík. Baňku, kterou jsme používali na tvorbu vodíku, překryjeme malou kádinkou, aby vznikající vodík dále neunikal do prostoru. Izolepu, kryjící horní otvor plechovky, odtrhneme, pomocí zápalky zapálíme špejli, kterou po přiblížení k ústí zažehneme vodík a vystřelíme plechovku vzhůru. Během zapalování špejle není nutné spěchat – pro vyšší vzlet plechovky je žádoucí nechat trochu vodíku utéct, a jeho místo tak zaplnit kyslíkem ze vzduchu.

⁶ Tetrahydroxidohlinitan sodný je známější pod názvem staršího názvosloví „tetrahydroxohlinitan sodný“ a má vzorec $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$.



REKAPITULACE

1. Reakcí hydroxidu sodného alobalové fólie vzniká

- a) trihydroxidohlinitan sodný
- b) tetrahydroxidohlinitan sodný a vodík
- c) trihydroxidohlinitan sodný a vodík

2. Hydroxid sodný lze nalézt pod označením

- a) natrux
- b) peroxid vodíku
- c) sodný louh

3. Při endotermické reakci se

- a) teplo uvolňuje
- b) teplo musí dodávat
- c) energie neuvolňuje ani nedodává

4. Alobalové fólie je z

- a) hliníku
- b) hořčíku
- c) železa

5. Hydroxid sodný je v čistém stavu a laboratorní teploty 25 °C kapalinou.

ANO - NE

6. Při spalování vodíku a kyslíku je třeba energii (teplo) dodávat.

ANO - NE

7. Kapalná voda se podílí na pohonu rakety.

ANO - NE

8. Tetrahydroxidohlinitan sodný je komplexní sloučenina.

ANO - NE



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Akademie věd ČR hledá mladé vědce
OTEVŘENÁ VĚDA
AKADEMIE VĚD ČR



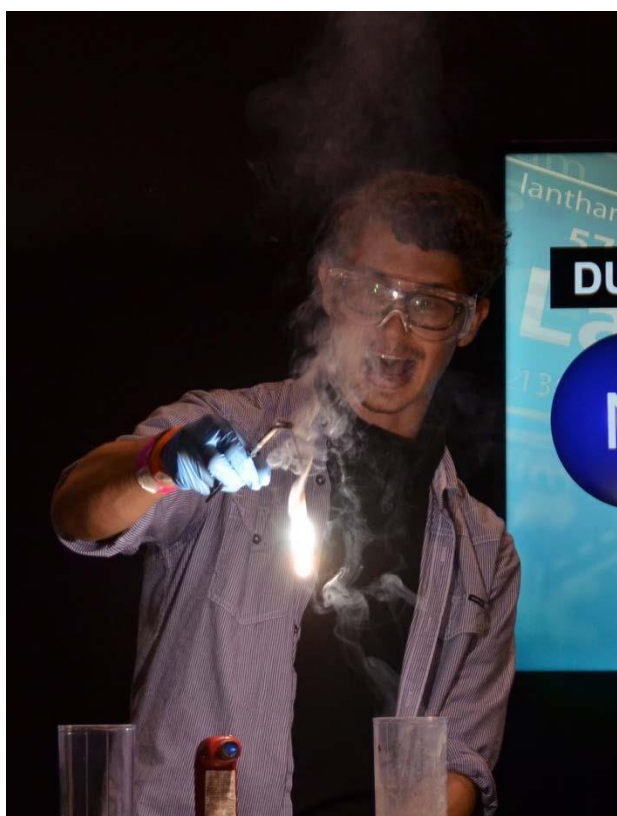
Ústav fyzikální chemie
J. Heyrovského



Mrkni se na video návod, Jak si vytvořit raketový motor, který vznikl v rámci [Noci vědců 2020](#):

https://www.youtube.com/watch?v=TYQmp85K_FY&list=PLFrGuvXvjnQOQIkZFyubNdnJjY5_oPPE&index=13

Hodně zábavy při
prozkoumávání
raket
přeje Kuba
a
VŠCHT Praha!



12. 4. se slaví Mezinárodní den kosmonautiky. Vytvoř si některou z nabízených raket a Poděl se s námi o své natočené výtvary! Ty nám zašli na e-mail: chemicky.krouzek@vscht.cz a odměna Tě nemine!