

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Bohumil Kučera

O užívání pevné kyseliny uhličitě při fysikálních demonstracích

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 31 (1902), No. 1, 34--42

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122581>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1902

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

O užívání pevné kyseliny uhličité při fysikálních demonstracích.

Napsal

Dr. Bohumil Kučera,

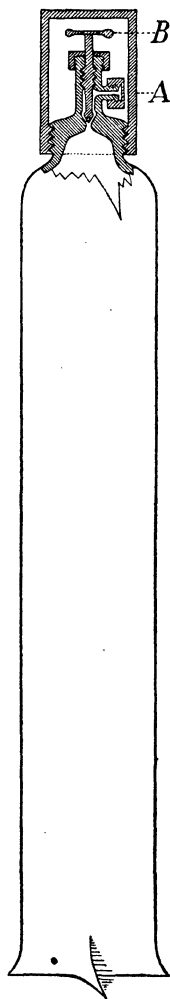
assistent velkovév. vysokých škol technických v Darmštátě.

V posledních létech velice se rozšířila výroba a prodej plynů velmi silně komprimovaných, zvláště však výroba tekuté kyseliny uhličité (vlastně kysličníku uhličitého — CO_2), kteráž se nyní za velmi nízkou cenu v železných bombách prodává.*) Leží na snadě, že záhy pomýšleno na to, zužitkovati těchto plynů při vyučování fysikálním a chemickém, a dnes nalezneme v inventáři velmi mnoha středních ústavů v Německu bombu s tekutou kyselinou uhličitou. Důvodem, proč právě kys. uhličítá je nejrozšířenější, jest, že mimo obvyklé pokusy s vyššími tlaky (na př. hnaní modelu parního stroje a p.) se hodí znamenitě k pokusům s velmi nízkými teplotami, k nimž ostatně není potřebí žádných velikých apparativních příprav, které by je činily pro střední školu snad příliš expensivními. Poněvadž pokusy tyto nejsou u nás dosud tak rozšířeny, jak by toho zasluhovaly, chci v následujícím malý výbor z nich krátce popsati. Poukazuji mimo jiné na to, že systematicky uspořádané serie jich znamenitě se hodí pro „středoškolskou extensi“.

Tekutou k. u. kupujeme v železných (nebo lehčích ocelových) bombách, na 250 atm. zkoušených; ježto tlak její při 30° C. obnáší teprve asi 74 atm., není experimentování spojeno naprosto se žádným nebezpečím. Chceme-li zjednatí si pevnou k. u., musíme bombu nakloniti do polohy šikmé, ventilem dolů, což pomocí dvou dřevěných podstavců snadno docílíme. Na otvor ventilu (A na obr. 1.) přišroubujeme kovovou rourku, která na konci svém nese dřevěný kotouč, k němuž připevněn je válco-

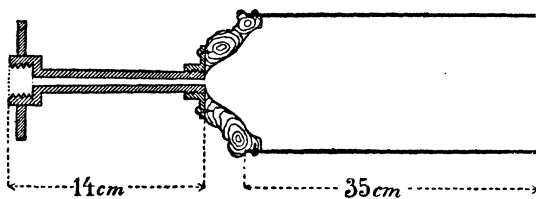
*) V Praze u společnosti pro výrobu kyseliny uhličité lze obdržeti bomby o obsahu asi 10 kg tekuté k. u. za 6 K, při čemž bomba sama se na 3 měsíce zdarma zapůjčuje. Na jednu serii pokusů stačí asi jedna pětina jejího obsahu. Bomby s obsahem menším rovněž lze koupiti tamtéž.

vitý, na druhém konci otevřený pytlík ze silného (nejlépe dvojitého) černého sukna. (Obr. 2.) Onen otevřený konec složíme do záhybů a zavážeme motouzem. (Toto zařízení je sice pohodlné, ale ne nezbytné; zúplna postačí také pytlík s kotoučem bez šroubu k nasazení, který prostě před ventilovým otvorem držíme, nebo druhým koncem kol něho obvážeme.) Otevřeme-li ventil otočením *B*, proudí k. u. otvorem *A* ven a ochlazuje se náhlým rozpětím tak, že tuhne ve vločky sněhové, které se v pytlíku usazují. Získali-li jsme dostatečného množství pevné k. u., což snadno smáčknutím pytlíku zjistíme, odšroubujeme jej a vysypeme k. u., rozvázavše zavírající jej motouz, nejlépe na porcelánovou fotografickou misku pomocí rohové lžičky. Můžeme bez obav bráti pevnou k. u. do rukou, dotek je následkem Leidenfrostova zjevu neškodný. Jen stiskneme-li více, pocítíme řezavou bolest a na místě stykovém utvoří se bílý puchýř obdobný spálenině, který však, netrval-li dotek dlouho, brzo zmizí. I do úst možno kousek pevné k. u. vzítí bez jakýchkoli obav, pouze vdechnutí musíme se vystríhati. Pěkně ukáže se Leidenfrostův zjev, vhodíme-li kousek k. u. na rozžhavený kovový plech nebo na vodu obyčejné teploty. Menší kousky pevné k. u. se nepotopí, ač mají větší specifickou hmotu než voda (totiž asi 1,2). Pevná kysel. uhl. mění se za obyčejného (barometrického) tlaku direktně v plyn a ne v tekutinu; důvodem jest, že její bod varu ($-79,2^{\circ}$) leží níže než bod tání (-58°). Má tedy sublimující pevná k. u. velmi nízkou teplotu téměř 80° pod nullou, a sráží se na ní



Obr. 1.

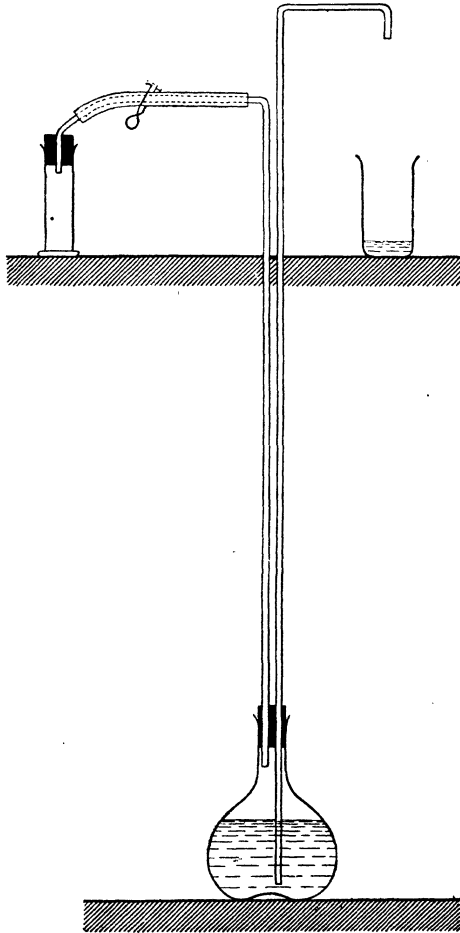
tudíž velmi rychle vodní páry ve vzduchu obsažené ve tvaru jemného sněhu. Plyn, jenž vzniká z pevné k. u., můžeme snadno v trubici plynojemné nad vodou nachytati a použiti k důkazu, že jeho vlastnosti jsou totožné jako ony kyseliny uhličitě, jinak chemicky vyvozené. Známost, že nepodporuje hoření, nejjednodušeji ukážeme, vhodíme-li do široké nádoby, na jejímž dně hoří malá svíčka, několik kousků pevné k. u. Postavíme-li



Obr. 2.

na schodovitě ohnutou rouru skleněnou svíček několik, vidíme, jak počínaje spodní shasínají postupně. Týž pokus lze provést velmi efektně s petrolejem, na veliké ploché misce zapáleným, na něj vhodíme lžičku pevné k. u. Tu může býti poukázáno na bomby k hašení ohně, naplněné obyčejně Pictetovou tekutinou $2SO_2 + CO_2$, nebo tekutým SO_2 . Že všechny pokusy s k. u. prováděné, jako přelévání, diffuse v otevřené nádobě na vahách stojící, absorpce roztokem amoniaku a p. v. stejně i s k. u. z pevné vypařenou se daří, netřeba zvláště vytýkati. Tlak vypařující se k. u. nejsnáze ukážeme malým modelem pivního tlakostroje (obr. 3.). Rovněž velmi snadno ukážeme pomocí pivní láhve s patentní zátkou, jak k. u. pivu již odstátému znova dodává „řízu“. Pomocí syfonu můžeme v malém nádobiti fabrikaci minerálních vod. K těmto pokusům uijeme pouze takových množství k. u., aby se tekutina za tlaku 2 až 3 atm. nasýtila. Důležitým je poukaz k ohromnému rozšíření právě tohoto použití k. u. v praxi; homba s 8 kg k. u. stačí k impregnaci více než 500 l. vody za tlaku asi 4—5 atm. Uzavřeme-li něco pevné k. u. v silné zkumavce dobře přiléhající zátkou, máme model pistole na stlačený plyn. Nevypařuje-li se k. u. dosti rychle, stačí zkumavku ponořiti do vody obyčejné teploty, výbuch nastane pak rychleji.

Rychlé vypařování pevné k. u. jest také příčinou zajímavých zjevů akustických. K pokusům těmto je nutno k. u. velmi silně komprimovati, což nejnáze se obstará pomocí válcovité



Obr. 3.

formy s pístem dřevěným nebo lépe kovovým prudkými rázy těžkého kladiva. (Dobře poslouží kus silné mosazné roury o průměru asi 2—3 cm a 10 cm délky.) K. u. nabude tak spec.

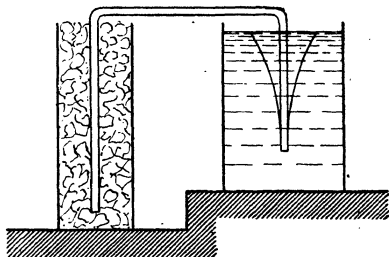
hmoty až 1,6 a více. Silně komprimovaný válcovitý sloupeček k. u. na pohled velmi podobný křídě, vyjmeme z formy a postavíme na rezonanční desku ladičky (tónu dosti vysokého, na př. Königova Ut_4). Posadíme-li na jeho svrchní plochu kovovou kuličku poloměru $1\frac{1}{2}$ —5 cm, počne jasně zníti, jsouc uváděna ve chvění ve směru vertikálním stále periodicky se opakujícími nárazy k. u., pod ní při každém doteku rychle se vypařující. S klesající teplotou kuličky tón se stává hlubším, slabne a posléze umlká; můžeme jej regenerovati, zahřejeme-li kuličku Bunsenovým kahanem. Tóny velmi jasné obdržíme pomocí zařízení na prvý pohled velmi podobného pokusu Trevelyanovu: Na zmíněný váleček k. u. podepřeme jeden konec válcovité kovové (*Fe, Cu, Zn*) tyče průměru circa 1 — $1\frac{1}{2}$ cm a délky 30 cm, jejíž druhý konec položíme na skleněnou desku jen ve středu upevněnou (po případě na kovovou desku pro Chladného obrazce nebo jiný podobný snadno rezonující systém). Původ tónu je též jako svrchu uvedeno. Celé uspořádání můžeme také obrátiti: Přitiskneme-li sloupeček k. u. hranou na rezonující desku kovovou, obdržíme velmi ostrý pronikavě vibrující tón, velmi podobný zvonění elektrického zvonku. Užijeme-li při prvém pokuse místo kovové kuličky čisté rtuti, již do důlku ve válečku k. u. vyhloubeného nalejeme, slyšíme též velmi hluboký slabý tón; při tom tvoří se na povrchu rtuti překrásná soustava drobných vlnek. Po chvíli přestává vlnění; odlijeme-li v témž okamžiku rtuť, vidíme, že část jí zmrzla a to ve tvaru krystalinických jehel, délky až 2 cm Společnou podmínkou všech akustických zjevů je dostatečná komprese k. u.

Eminentní důležitost má pevná k. u. jakožto velmi vydatné chladidlo, mající teplotu téměř -80° C. za tlaku 760 mm rtuti, a -124° C. za tlaku 5 mm. Zpravidla užíváme však směsi její s aetherem ve formě husté kaše, kteráž jest daleko lepším vodičem tepla a ochlazuje tudíž mnohem rychleji. Pomocí této chladivé směsi můžeme rychle demonstrovati zmrznání různých kapalin (voda ve zkumavce do k. u. ponořená mrzne v led neprůhledný, na zkumavce s k. u. ponořené do vody narůstá led dokonale průhledný, roztok skalice modré mrzne v bílý led (sůl vypadává), roztok dvojchromanu draselnatého v led žlutý, kuchyňské soli v bílý, fluoresceinu v oranžový. Alkohol a aether

nemrzou, ač nízká teplota jejich dá se snadno demonstrovati ponořením úzké zkumavky s vodou do nich (pokusy s pivem a vínem). Kaučuk stává se tak tvrdým, že narazem kladiva se roztrhne jako sklo. Nejvíce překvapují pokusy se rtutí, zvláště pokus Faradayův o zmrznutí rtuti v plameni. Kovovou (nejlépe platinovou) misku nejméně na 3 *cm* hlubokou naplníme pevnou k. u., kterou polejeme zcela malým množstvím aetheru; pod ní postavíme hořící Bunsenův kahan. Ponoříme-li do k. u. kovovou lžičku s dlouhým držadlem (na př. z náprstku improvisovanou), v níž se nachází něco rtuti, zmrzne tato během několika vteřin a dá se (třeba pomocí vmrzlého drátu) ze lžičky vyjmouti. Při tomto pokuse neopomeňme exp. stůl pokrýti kusem plechu pro event. vystříknuvší kapky aetheru. Větší množství rtuti (1 *kg*) vlejeme přímo do větší tenkostěnné nádoby, v níž chováme naši mrazotvornou směs; zmrzá ve tvary velmi bizarní, podobné jako olovo nalité do vody. Zavěsíme-li tuto pevnou rtuť volně do nádoby se studenou vodou, obklopí se rychle ledovým obalem a tajíc, kape na dno nádoby rourkami ledovými — drahami to jednotlivých kapek (pokus Tyndalův). Pevná rtuť taje relativně rychle, majíc velmi malé teplo skupenské. Zvláštním silným dojmem působí, vyklopíme-li po ukončení serie pokusů zbylou nám směs k. u. a aetheru do větší nádoby s vodou; k. u. počne se bouřlivě vypařovati, ony částice vodní, které dostanou se nad ni odhazujíc, tak že vodní povrch klokotá a syčí jako za silného varu. K. u. se z pravidla ani nepotopí.

O teple vedeném dá se pomocí k. u. provésti několik velice jednoduchých pokusů. Postavíme-li na př. do nádoby, v níž nalézá se as 3 *cm* vysoká vrstva naší mrazivé směsi, několik tyčinek průměru asi $\frac{1}{2}$ *cm* a délky 40 *cm*) z rozličných látek, jako dřeva, skla a různých kovů, vidíme za krátkou dobu ná- zorné různou jich vodivost — ojmění z vlhkosti okolního vzduchu pokročilo na dobře vodivých nejdále, u dřevěné sotva 1 *cm* nad povrch směsi. Ještě rychleji dá se provésti pokus následující: Na podklad z různě vodivých látek postavíme malé tenkostěnné nádobky s plochým dnem, nalijíce pod každou něco málo vody; vhodíme-li do každé malou lžičku naší směsi, vidíme, že na špatně vodivém podkladu nádobka téměř okamžitě přimrzla, kdežto na kovu nepřimrzne vůbec. Na konec budiž mi dovoleno

popsati nový pokus demonstrační velmi vhodný pro projekci. Dvakrát v pravém úhlu ohnutou tyčinku měděnou délky asi 25—30 cm a průměru 5 mm ponoříme jedním koncem do mrazivé směsi, druhým do nádoby naplněné studenou vodou. Za nedlouho počne se tento druhý konec obalovati úplně čirým ledem, který během jisté doby utvoří rotační těleso, v jehož průřezu krásně vyniká exponentiální křivka, známá nám z Biotova pokusu o teple vedeném tyčí, jejíž konce držíme na různých teplotách (obr. 4.). Ježto led a voda mají různý exponent lomu, dá se tato křivka snadno ukázati ve vertikální projekci.



Obr. 4.

Zkapalnění pevné k. u. pod vlastním tlakem, jakož i některé pokusy o kritických veličinách lze provésti dle Prytze pomocí aparátu, sestávajícího ze silné nádoby skleněné, podobné zkumavce, spojené s manometrem a s postranní rourou ven ústící a kohoutkem uzavřenou. Dáme-li do nádoby té kousky pevné k. u., stoupne tlak něco nad 5 atm. a k. u. počne tát, až konečně zkapalní, při čemž manometr indikuje asi 10 atm. Otevřeme-li pak kohoutek s vnějším vzduchem komunikující, klesne tlak na 5 atm. a k. u. stane se zase pevnou. Tyto pokusy nejsou však docela bez nebezpečí a přesahují také větším dílem obor střední školy vyměřený. Připomenuto budiž, že hotové uzavřené roury skleněné s tekutou k. u. pro demonstraci kritických veličin lze obdržeti koupí, ovšem za cenu relativně vysokou (po 17 markách).

Za tyto pokusy kalorické chci zařaditi několik jednoduchých pokusů chemických, které vesměs ukazují, že za velmi nízké teploty rychlost, již probíhají reakce chemické, stává se tak malou,

že v konečném čase nemůžeme obdržeti žádných produktů reakčních, tak jakoby za nízké teploty se stávaly látky chemicky inaktivními. Ochladíme-li kousek mramoru a něco koncentrované kyseliny solné naší směsí, a vhodíme-li potom mramor do kyseliny, nenastává vývin kyseliny uhličitě. Teprve při znenáhlem oteplování v jistém okamžiku (za teploty asi -52° C.) počnou vznikat malé bublinky, až za teploty obyčejné se vývoj stane bouřlivým. Podobně neúčinkuje metalické natrium na alkohol, ani na led, byly-li pod -60° C. ochlazeny. Při pokuse tomto musíme natrium dobře očistiti od petroleje, v němž je obyčejně chováme, jakož i od povlaku, jímž bývá pokryto. Konečně můžeme pokusy s alkoholem, fosforem a p. v. ukázati, že zápalnost látek vázána je na určitou teplotu, pod níž zapálení nenastává.

Z pokusů optických je nejzajímavější změna barev hmoty s teplotou. Jasně zabarvení červeného kysličníku rtuťnatého a olovnatého, jodidu rtuťnatého, minia, rumělky a p. v. stává se za nízké teploty značně slabším. Naplníme-li těmito látkami úzké tenkostěnné zkumavky, jež v naší směsi ochladíme, a porovnáme-li je s jinými, v nichž chováme je za teploty obyčejné, jest rozdíl zabarvení velmi patrný. Systematicky dosud věc prozkoumána nebyla, ač je vysoce zajímavým výsledkem Dewarův, že téměř veškeré látky za teploty tekutého vodíka ztrácejí svoji barvu, stávající se špinavě bělavě šedivými. Překrásným zjevem je fluorescence pevné k. u., vzbuzená silnou elektrickou jiskrou (influenční elektriky nebo induktoria) těsně nad ní přeskočivší; při pokuse tomto je nutno ovšem exp. sň zatemnití, a direktní světelný efekt jiskry okamžitým odstíněním odstraniti.

Isolujeme-li elektricky bombu s k. u., třeba tím, že pod dřevěný podstavec podložíme suché skleněné (nebo ebonitové, paraffinové) desky, a spojíme-li ji vodivě s citlivým elektroskopem, pozorujeme značnou výchylku jeho lístků, proudí-li k. u. z bomby ven. Působí tedy bomba jako ode dávna známý Armstrongův stroj hydroelektrický. Rovněž můžeme pozorovati značnou výchylku lístků, postavíme-li elektroskop prostě do proudu k. u. z bomby unikající. Ježto dle pokusů Wesendonckových nevzniká třením plynu elektrisace žádná, musíme předpokládati, že původ nábojů, které jsme obdrželi, hledati sluší v tření pevných vloček jednak k. u., jednak sněhu z vod-

ních par okolního vzduchu sraženého. V tomto případě je náboj zpravidla negativní. Při obyčejné výrobě pevné k. u. často můžeme pozorovati, že ze sukna pytlíku lze obdržeti elektr. jiskry až 2 *cm* délky, ale ovšem velmi slabé; náboj bývá pozitivní. Také kusy pevné k. u. po vyjmutí z pytlíku jeví na elektroskopu náboj pozitivní. Sloupečky značně komprimované k. u., jichž užíváme při provádění pokusů akustických stávají se třením velmi značně a trvale elektrickými, tak že jen tím lze je zbaviti elektrisace, že protáhneme je rychlým pohybem skrze plamen svíčky neb plynového hořáku. Bohužel schází dodnes systematické prozkoumání všech těchto elektrických zjevů, jakož i různých příčin, jež je začasťe značně modifikují.

P o z n á m k a. Všechny popsané pokusy byly několikráte vyzkoušeny, a daří se s bezpečností téměř naprostou. Proto bylo mi možno na „Třetím sjezdě čes. přírodopytců a lékařů v Praze 1901“ v sezení sekce fysikální v čase poměrně velice krátkém celou řadu jich provésti. Ve příčině další literatury odkazují na svůj obšírný referát „O fysikálních vlastnostech hmoty za velmi nízkých teplot“ v 30. ročníku tohoto časopisu str. 184.—204. a 245.—271. r. 1901.

Jak třeba zvoliti vazby a síly, aby soustava jimi daná dala se realizovati.

Napsal

Arnošt Dittrich v Praze.

Následující úvahy vztahují se pouze na úlohy čistě mechanické, při nichž jde o pouhé pohyby. Sem náleží na příklad pohyby tuhého tělesa, tekutin nestlačitelných, soustavy bodů, jež se přitahují dle Newtonova zákona atd. Za zjevy čistě mechanické nelze pokládati ty, jež jsou na př. zároveň zjevy tepelnými jako zejména všechny pohyby spojené s třením, úlohy týkající se plynů, pružných těles, zjevů kapillárních.

Z uvedených příkladů jest patrno, že u zjevů čistě mechanických splněna následující podmínka.

Byla-li v prostoru, v němž se tělesa pohybují, v jistém okamžiku teplota stálá a v každém místě síla elektrická, magnetická, vektor světelný atd. roveň nulle, bude temperatura míti