

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Antonín Vyskočil

O galvanických člancích demonstračních

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 58 (1929), No. 3-4, D33--D40

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/124010>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1929

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>

Dr. ANTONÍN VYSKOČIL (Praha III, R):

O galvanických člancích demonstračních.

Předneseno na schůzi XXII. sekce VI. sjezdu československých přírodopýtců, lékařů a inženýrů v Praze dne 30. května 1928.

Při výkladu o člancích galvanických v hodinách fyziky (na vyšším stupni) část chemická po stránce experimentální bývá opomíjena, ač i této měla by být věnována zvýšená pozornost. Jinak ovšem již v hodinách chemických ve vyšších třídách škol středních při vhodné příležitosti (na př. při probírání kovů: mědi, zinku) měl by být proveden pokus, z něhož by alespoň základní podmínka vzniku elektrického proudu dala se vyčísti. Žáci v té době z výkladů chemických jsou poněkud již obeznámeni s dissociací teorií Arrheniovou, slyší v chemických hodinách často o předpokládaných elektrických nábojích, jmenovitě v roztocích kyselin, zásad a solí. Proto by zajisté nebylo na závadu, kdyby učitel již v hodině chemie žákům pokusně dokázal jsoucnost elektrických nábojů v látkách předpokládaných.

V hodinách fyziky pokusy, týkající se článku galvanického, měly by ovšem být provedeny v celé své úplnosti do nejmenších podrobností, neboť význam galvanického článku pro teorii i praxi jest dalekosáhlý.

Základní pokus budiž tak proveden, aby z něho především jasně vyplynula základní podmínka přeměny energie chemické v elektrickou. (Podmínka tato, jak známo, jest: Chemický děj, sám o sobě obyčejně za vývoje tepla probíhající, musí být rozdvojen, a to tak, aby každá z obou jeho částí dala se na jiném místě při vhodném spojení vnitřním i vnějším.) Obě parciální děje chemické měly by být žákům předvedeny způsobem zvláště přesvědčivým. Popis některých článků galvanických v praxi používaných mohl by pak následovat po provedení a vysvětlení základního pokusu.

Uvedu zde nejprve příslušný základní pokus v různých úpravách a poté ještě některé jiné pokusy podobné, jež podle okolností by mohly být provedeny jmenovitě při praktických cvičeních fyzikálních.

Základní pokus demonstrační.

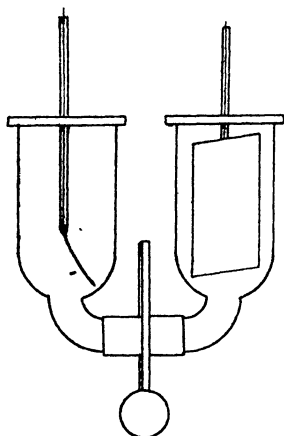
Představme si, že bychom pokus nejprve provedli v úpravě podobné těm, jichž snad zde onde bylo již použito. Abychom zdůraznili základní podmínku již uvedenou, t. j. nutnost prostorového rozdělení chemické akce, použijme místo jedné nádoby skleněné (což by

ovšem bylo zvláště pohodlné) raději dvou nádob (kalíšků nebo skleněných kádinek). Obě nádoby naplníme do stejné výše zředěnou kyselinou sírovou a poté vnořme do jedné z obou desku nebo tyčinku zinkovou (amalgamovanou), do druhé pak plíšek nebo drátek platinový, taktéž upravený v elektrodu známým způsobem (do skleněné trubičky, v níž jest drátek platinový vhodně zataven, nalije se kapací nádobkou trochu rtuti). Oba kalíšky (jich roztoky) spojíme dále širší, nízkou U-trubicí, naplněnou buď zřed. kyselinou sírovou nebo roztokem některé neutrální soli, na př. soli kuchyňské. Po uzavření kruhu objeví se nám na galvanoskopu úchylka jehly; vybavování plynu (vodíku) na platině, zvláště použili-li jsme plechu, nás však nikterak asi neuspokojí. Pro demonstrační pokus málo to bije do očí. Platinový plíšek, často i drátek (záleží zde poněkud i na předchozím mechanickém zpracování) pokryjí se ponejvíce jen většími bublinkami vodíku. Posléze uvedenou závadu mohli bychom, jak jsem shledal, poněkud zmírniti, kdybychom místo platiny použili niklu ve způsobě tenkého plechu (po př. nichromového drátu; o tom viz níže). Niklu možno zde taktéž upotřebiti jako neporušitelné (prakticky) elektrody, ježto se ve zředěné kyselině sírové mezi pokusem patrným způsobem nerozpouští. Nikl má sice větší t. řeč. přepětí (t. j. odpor. proti vytvořování bublinek vodíkových) než platina, ale u niklu spíše dostaneme po uzavření kruhu trvalý, třeba ovšem jen slabý proud vodíkových bublinek. Platina bývá zde velmi často handicapována povahou svého hladkého povrchu, který patrně není zde přízniv vytvořování malých, snadno se oddělujících plyných bublinek. Přece však možno onoho nepatrného přepětí, kterým se platina vyznačuje, pro náš demonstrační účel využítí. Stane se to tehdy, použijeme-li platiny, pokryté platinovou černí. (Podobných elektrod, jak známo, se upotřebuje při některých přesných měřeních elektrochemických. Poplatinování provede se elektrolyticky nejvýhodněji podle Lummera a Kurlbauma: 1 gram kyseliny chloroplatické a 0.01 g octanu olovnatého se rozpustí ve 34 cm³ vody. Poplatinování při 4 V napětí provedeme v malé nádobce v 5—10 minutách).

Použijeme-li při demonstračním pokusu nyní platiny, uvedeným způsobem poplatinované, pak vodík rychle proudem vystupuje z povrchu platiny (po prvním uzavření kruhu až po chvíli, kdy platina na povrchu jest nasycena vodíkem).

Nejnepohodlnějším při pokusu, v uvedené úpravě prováděném, jest zajištění připojování spojovací U-trubice, naplněné roztokem (NaCl). Použití platinové elektrody, pokryté platinovou černí, nám však umožňuje provedení základního pokusu v úpravách mnohem pohodlnějších. Může se to státi v podstatě dvojím způsobem: A) Místo dvou kalíšků lze použítí dvou válečků (širších trubiček), k nimž je dole přitavena úzká, kolenovitě zahnutá trubička skleněná (Obraz 1). Konce obou trubiček spojíme krátkou trubičkou kaučukovou s tlačkou.

Obě nádoby připevníme ke stojanu tak, aby byly ve stejné výši. Před provedením pokusu buď nalijeme při otevřené tlačce do obou dole spojených nádobek přiměřené množství zředěné kyseliny sírové, anebo lépe: dříve, než se oba válečky naplní kyselinou sírovou, nalije se shora do přístroje tolik roztoku neutrální elektrolytu (NaCl), až dolejší spojovací trubička jest jím naplněna. Ústí obou trubiček, a to tam, kde jsou přitavena k válečkům, se uzavrou zátkou z bavlnky. (Tento neutrální roztok spojovací možno obarviti několika kapkami lakmusu, jako lze podobně učiniti později přilité zředěné kyselině sírové. Tím rozdílná povaha obou roztoků jest již z dálky patrna). Výhody tohoto uspořádání proti předešlému jsou tyto: a) ušetříme



Obr. 1.



Obr. 2.

si zde hořejší nepohodlné spojování U-trubicí, jež sama vyžaduje dvou malých krycích sklíčec, která po spojení s kalíšky vlastní vahou v roztoku odpadnou; b) pouhým použitím tlačky je možno, je-li již jinak kruh (i s připojeným demonstračním galvanometrem) uzavřen, kdykoliv děj elektrochemický zahájit nebo zastavit; c) lze poměrně snadno (zvláště máme-li u dna válečků výše uvedené bavlnkové zátky) při použití tlačky nádobky od sebe oddělit a v jedné z obou nahradit H_2SO_4 jiným roztokem.

B) Výše uvedená »citlivělá« platinová elektroda umožňuje však ještě pohodlnější úpravu pokusů: Zde lze použítí dvou stejných, po příp. jakýchkoli kalíšků skleněných, které po naplnění příslušným roztokem spojíme prostě užším pruhem přeloženého filtračního papíru, který předtím namočíme do roztoku kuch. soli nebo dusičnanu draselného. (Místo filtračního papíru lze také upotřebiti na př. svazku silných nití vlněných nebo i knotu). Při této nejnepohodlnější úpravě lze zvláště snadno zaměňovati kalíšky s různými roztoky, takže při poměrně malé ztrátě času lze demonstrovati průběh jednotlivých

chemických dějů. Že zinek se rozpouští ve druhé nádobce, zatím co v první se vybavuje způsobem velmi zřetelným vodík, lze ukázat tak, že u zinku místo kyseliny sírové použijeme neutrálního roztoku (na př. síranu sodného nebo kuchyňské soli, ledku a p.); k těmž přičiníme pak trochu čerstvé vody sirovodíkové nebo $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. Že po uzavření kruhu zinek vstupuje v roztok, projevuje se tím, že v okolí zinku vytvořuje se bílá ssedlina ZnS , převážně v podobě závoju světlých. (H_2SO_4 nelze zde použít, ježto, jak známo, ZnS se snadno rozpouští v kyselinách). Upotřebením neutrálního roztoku, jako na př. NaCl , u zinku a ve spojovacím pásku má ještě tu přednost, že lze tím zdůraznit iontickou povahu dějů: Kovový zinek se odvržením valenčních elektronů ionisuje (vstupuje v roztok jako kladně nabitý ión) a vedení proudu v roztoku jest jinak zprostředkováno ionty, při nichž rozhoduje jen povaha elektrického náboje bez ohledu na jejich látkovou jakost. Kdo by snad pro podobný pokus neměl po ruce kyseliny chloroplatické, potřebné pro poplatinování platiny, mohl by, jak jsem shledal, platinu dosti dobře zde nahradit nichromem (drátkem), poněkud zdrsněným smirkovým papírem a upraveným v elektrodu. Proud bublinek vodíkových, po uzavření proudu vystupující z povrchu nichromového drátku, jest dosti slušný a nápadnější než u platiny nepokryté platinovou černí. (Nichromová slitina sama o sobě se v kyselině sírové patrným způsobem nerozpouští). —

Chceme-li ukázat, že vystupující plyn z povrchu platiny jest vodík, upravme si elektrodu tak, aby plyn mohl býti jímán. (Obraz 2). To se může státi takto: Trubičku skleněnou (s malým množstvím rtuti, potřebným ke vznějššímu připojení), v níž je zataven drátek platinový, spojený s úzkým platinovým plíškem, pokrytým platinovou černí, zapustíme do gumové zátky, kterou před zahájením pokusu utěsníme konec širší trubice skleněné tak dlouhé, aby asi polovina platinového plíšku dole přečnívala.*) Toto utěsnění zátkou stane se ovšem až po vnošení (částečném) dole otevřené trubice do zředěné kyseliny sírové. Celou elektrodu takto upravenou upevníme v roztoku (jako ve všech podobných případech) tím, že přečnívajícím úzkou trubičku, v níž jest rtuť se zataveným platinovým drátkem, zapustíme do nízké korkové zátky o něco širší, než jest průměr nádobky (kalíšku), v níž jest zředěná kyselina sírová. V $\frac{1}{2}$ až $\frac{3}{4}$ hod. nahromadí se v širší trubici tolik vodíku, že lze jej po vyjmutí elektrody z kapaliny zapáliti.

*) Platinový plíšek připevníme ke drátku z téhož kovu lépe svarem než spájením. To lze učiniti velmi jednoduchým způsobem asi takto: Plíšek platinový dáme na kus železa nebo na kovadlinku. Poté přiložíme k plíšku platinový drátek (jeho koncem) a na místo, kde se platinový drátek dotýká plíšku, obrátíme plamen dmuchavky nebo ostrý plamének dmychadla (v tomto případě není potřebí asistence). Jsou-li místa styku rozžhavena, přiklepe se úderem malého kladívka drátek na plíšek. Plíšek jest připojen pevněji nežli pájkou.

Při provádění základního pokusu, zde uvedenému podobného, zbývalo by ještě ukázati, že zinek vně roztoku nabývá náboje záporného. Může se tak státi obvyklým způsobem (vhodným elektrometrem, spojeným s jednoduchým kondensátorem [Voltovým]). Ostatně i zde lze upotřebiti červeného papírku lakmusového (i fenolftaleinového), přiblížíme-li dostatečně oba konce měděných drátů, spojených s oběma elektrodami.

Pokusy výše popsané, po případě i ony, jež budou zde ještě uvedeny, mohou zajisté snadno býti provedeny i v projekci. Jinak lze proud vodíku, unikajícího ve zřed. kyselině sírové z povrchu platiny (platinové černi), i na jistou menší vzdálenost, učiniti zřejmým, postavíme-li vhodně větší lupu před příslušnou nádobku (platinovou elektrodu).

Pokusy při praktických cvičeních fyzikálních.

Pro žákovská cvičení zvláště dobře hodí se posléz uvedená úprava galvanického článku. Věci potřebné k pokusům zde popsaným jsou v podstatě tyto: Nejméně dva menší skleněné kalíšky, platinový drátek, upravený v elektrodu (zatavený ve skleněné trubičce se rtuťí) a pokrytý (galvanicky) platinovou černí. (Platinování lze provést i ve cvičení). Dále dva obyčejné platinové drátky, zatavené ve skl. trubičkách (jeden z nich budiž upraven v elektrodu), nízké, širší korkové zátky pro upevnění elektrod v kalíšcích, amalgamovaný zinek, úzký plech nebo váleček niklový a železný (hřebík), izolované dráty měděné (se svorkami) a citlivý galvanoskop. Mimo to také ještě: filtrační papír, destil. voda a příslušné vodní roztoky. Kyselina sírová, roztok modré skalice, kuch. soli (síranu sodného), sirovodíku (sírniku amonného), po př. i červené krevní soli a čpavku. Posléze ještě trochu práškovitého dvojjchromanu draselného. —

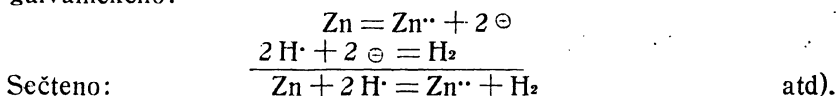
Vlastní cvičení.

Základní, výše již uvedený pokus s kys. sírovou, platinou a zinkem může býti opakován a rozšířen. Tak na př. lze se přesvědčiti zředováním vodou destilovanou o vlivu koncentrace použité kyseliny sírové na vodivost elektrolytickou ve článku, úměrnou, jak známo, intenzitě při prakticky stejné elektromotorické síle. Tuto možno v našem případě v mezích poměrně malého zředování vodou (lze pokročiti až pod 20%) pokládati za přibližně stálou, ač přísně vzato elektrom. síla našeho článku roste se stoupajícím množstvím (koncentrací) iontů vodíkových, ale prakticky zvýšení toto bylo by nepatrné i kdyby objem roztoku zůstal týž. Podle citlivosti použitého galvanometru (nebo i jinak celkového zařízení), připravíme si kyselinu sírovou asi 35% nebo i silnější. Napřed provedeme pokus s touto kyselinou a poté sledujeme vliv zředování vodou. (Pozorování: Intenzita proudu galvanického zředováním pouhou vodou do určité míry — stanovitelné případně malým vloženým areometrem — se zvětšila tou měrou, jak také zesílil proud vystupujícího vodíku. Tudiž postoupila patrně zředováním vodou

elektrolytická dissociace kyseliny sírové; tím právě zvýšila se vodivost i reaktivnost iontů vodíkových, neboť chemická reaktivnost záleží právě i na koncentraci účinných látek — zde na konc. H). — Dále lze se přesvědčiti, že plynný vodík jest příčinou polarisace, neboť, přičiníme-li něco látky oxydační (na př. jednoduše trochu práškovitého $K_2Cr_2O_7$) po uzavření proudu do kalíšku, kde je platina (nasyčená již vodíkem), okamžitě ručka galvanometru značně poskočí při současném rychlém umenšování, posléz i zániku vzhůru vystupujícího proudu vodíku. Ponecháme-li vše v klidu, pozorujeme, jak zase ručička galvanometru zvolna postupuje zpět, a to tou měrou, jak se opětně vodík počíná vylučovati na povrchu platiny. (Po delší době lze v okolí platiny pozorovati i slabou změnu barvy). Nebylo-li roztokem mícháno, jest možno, posunuje-li se platinový drátek vpravo, vlevo, nahoru a dolů dobře sledovati změny na galvanometru i při platině v souvislosti s koncentrací látky oxydační v kterémkoli bodě roztoku.

Dále lze provésti pokusy, jimiž možno sledovati pořadí alespoň některých kovů (i také vodíku) ve Voltově řadě napětí. Zinek jednoduše postupně nahrazuje se železem, niklem, mědí. Máme-li při těchto pokusech po ruce citlivý demonstrační galvanometr, jsou příslušné rozdíly také z dálky patrný, zblízka pak ještě lze znamenati silnější, slabší nebo po př. žádný proud vodíku u naší platiny. Také vylučování mědi kovy méně ušlechtilými (v soustavě galvanického článku) lze snadno provésti. (Jest to pro náš pokus vlastně jen náhrada vodíku mědí. Oba případy jsou pak, jak známo, jen příklady jevu, že kov (také vodík) v řadě napětí následující jest vylučován z roztoku předchozím. Prvek méně energický vylučován jest energičtějším. V tomto případě použije se místo platiny pokryté černí platinovou pouhě platiny, a to ve způsobě drátku; platinový plíšek pro naši úpravu jest méně vhodný, ježto trvá to dosti dlouho, než se pokryje nápadnější vrstvou mědi. Zde je také z důvodů didaktických radno použití raději dvou obyč. drátků platinových, z nichž může pouze jeden býti upraven jako elektroda, druhý jest pouze pro kontrolu. Oba drátky (zatavené ve sklen. trubičkách) jednoduše zapustíme (tak jako v jiných případech) vedle sebe do nízké širší korkové zátky, kterou se pak pokryje skleněný kalíšek, čímž jsou drátky v roztoku (modré skalice) upevněny. Jako druhé elektrody (ve druhém kalíšku, který s prvním spojíme opět papírem filtračním, ovlhčeným NaCl) použijeme amal. zinku nebo železa ve zř. H_2SO_4 nebo v roztoku soli kuchyňské (nebo ledku). V tomto případě lze také (jako zkoumadla vynikajících iontů) pro zinek použití sirovozdíku, pro železo sirníku amonného. (Při železe byl by jev ionisace nápadnější, kdyby místo sirníku jako zkoumadla pro dvojmocný ion Fe^{++} bylo použito červené krevní soli, rozpuštěné v roztoku neutrálního elektrolytu, zde nejlépe KNO_3 . Železo však samo i v roztoku KNO_3 se zvolna nepatrně ionisuje, takže za přítomnosti červené krevní soli vyniká spontáně něco Turnbullovy modři. Kdo by chtěl

zabrániti tomuto předčasnému tvoření uvedené modři, musil by příslušný roztok předem zcela slabě zalkalisovati několika kapkami zřed. čpavku). Všemi uvedenými pokusy má žák také nabýti poučení, že chemické reakce zde použité dějí se dle rovnic, na př. $2\text{H}^+ + \text{Zn} = \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$, $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} = \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$. (Nebo vlastně, jde-li o chemický děj místně rozdvojený, jak tomu jest právě u článku galvanického:



Také při všech jiných chemických reakcích, při nichž se účastní některá kyselina, zásada nebo sůl (t. j. některý elektrolyt) vlastní děj v roztoku se uskutečňuje, jak známo, pouze mezi ionty, které se podle okolností také z celistvých molekul doplňují. Z tohoto fakta plyne možnost takorba nekonečného množství galvanických článků. Naopak zase můžeme pokusně prokázati iontickou povahu určitého chemického děje, dáme-li témuž možnost probíhati v sestavě galvanického článku.

Příklad: Dusičnan stříbrný jest jedním ze zkumadel pro chloridy, neboť všechny téměř se jím z vodného po př. i z lihového roztoku srážejí. (Př.: $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 = \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$). Roztoky (lihové) chloridu uhličitého, chloroformu a pod. činí však výjimku, nesrážejí se dusičnanem stříbrným.

Příslušný pokus lze provésti celkem jednoduše asi takto: Jeden kalíšek (třeba jen velmi úzký) naplníme zřed. roztokem AgNO_3 , druhý stejně vysoký, roztokem NaCl . Oba kalíšky (roztoky), v nichž obě hladiny buďtež přesně v téže rovině, spojme poté místo pruhem filtračního papíru raději proužkem husté tkaniny (knotem), napuštěným roztokem neutrálního elektrolytu (zde nejlépe KNO_3). Do roztoku NaCl zapustíme ještě tyčinku nebo drátek stříbrný jako elektrodu, do roztoku AgNO_3 jako druhý konec kovového vedení buď zase kousek stříbra, nebo platinový drátek. (Slabě galvanicky postříbřeného měděného drátu, jak jsem se přesvědčil, nelze zde použítí, neboť týž podobně jako pouhá měď při vnoření do roztoku AgNO_3 vylučuje ihned stromkovitě stříbro na svém povrchu). Po uzavření kruhu galvanometrem objeví se na témže malá výchylka jehly a v roztoku kuchyňské soli (poblíže stříbra) bílá ssedlinka AgCl , při čemž druhý roztok (AgNO_3) zůstává čirý. Na jedné elektrodě (v roztoku NaCl) vstupuje stříbro jako ión do roztoku, na druhé se totéž množství stříbra ve způsobě drobných krystalků vylučuje, takže máme kovové stříbro stále ve množství nezměněném, za to jistě množství iontů stříbrných se vyloučilo ve způsobě bílé ssedliny chloridu stříbrného, tak jako při bezprostředním styku obou roztoků bez proudu. Zaměníme-li kalíšek s roztokem kuchyňské soli za jiný s roztokem (alkoholickovodném) chloridu uhličitého, nezjistíme po spojení s galvanoskopem proudu žádného a také ssedlina žádná

(AgCl) se netvoří (tak jako netvoří se, jak již uvedeno, po přímém smíšení obou roztoků). Sůl stříbrná (vl. Ag⁺) v roztoku jest zkoumadlem patrně jen pro chloriόν (Cl⁻) a srážení chloridů (elektrolytů) z roztoků dusičnanem stříbrným jest tudíž reakce iontická a lze ji proto obecně psáti: Cl⁻ + Ag⁺ = AgCl (ssedlina).

JAROSLAV FRIEDRICH:

Poznámky k výkladu pohybu křivočarého a síly odstředivé.

(Dokončení.)

Při výkladu síly odstředivé je mi hlavním cílem vyvésti žáky z nesprávných představ, k nimž svádí běžný způsob vyjadřování se. Dotážete-li se po zkušenostech žáků, uslyšíte, že kapka s brusu, bláto s kola, kámen z praku, automobil v zatáčce »odlétá« silou odstředivou, že sedadlo zavěšené na kolotoči se vyklání silou odstředivou. Tento výklon konečně probíhá — ovšem jen z počátku pohybu — »odstředivě«, v případech »odletění« konstatují však sami žáci, že tu není známky působení radiálního, nýbrž že předmět se pohybuje směrem tečny a vysvětlí to současností, vazbou síly odstředivé a dostředivé. A což velikost síly odstředivé? Prý stejná jako dostředivé — podle principu akce a reakce! Ale čím potom při této domnělé rovnosti protisměrných sil vysvětliti fakt, že předmět přece krouží? Jak z tohoto rozporu?

V každé třídě vyskytne se několik žáků bruslařů, kteří budou mít zkušenosti ze skupinové jízdy zvané »hodiny«. Řada jich se skutečně také sestaví a způsob kroužení naznačí. Žák tvořící osu poví ostatním, jak mohutný cítí při rychlé jízdě v pažích tah směrem *od* středu, žák krajní *C* pocituje tah *pouze* směrem *ku* středu, žáci prostředníci *A*, *B* cítí tah v obou pažích. Jak si vysvětlíme kroužení žáka *B*? Dostředivé napětí v jeho paži směrem k ose musí dodati potřebnou sílu pro kroužení hmoty *B + C*, odstředivý však tah v paži druhé vyvolán je pouze hmotou *C*. Krouží tudíž hmota *B* rozdílem obou sil, výrok o rovnosti síly odstředivé a dostředivé může se týkati pouze hodnot jejich na styčné plochy téhož příčného řezu (přibližně v místě styku dlaní, přesněji nákresem na rotující tyči). Žáci přicházejí tímto způsobem k poznání, že dlužno odlišovati, na které těleso uvažovaná síla působí: hmota obvodová podléhá pouze síle dostředivé, osa pouze síle odstředivé, hmota sprostředkující silám oběma. Kdyby každý žák byl spojen s osou zvláštním lánem, pocítoval by sílu odstředivou pouze žák tvořící osu. V příkladech úvodem citovaných jak »odletění«, tak i »vyklánění« jsou prostě projevem setrvačnosti hmoty při úplném