

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Vladimír Novák
Interference zvuku

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 34 (1905), No. 2, 179--189

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120939>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1905

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>

Z první rovnice $\overline{ca_1} + \overline{bd} = \overline{cb_1}$ obdržíme též

$$\overline{aa_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} + (\overline{aa_1} + \overline{b_1b}) \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} = \overline{bb_1} \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2}$$

nebo

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} : \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} = (\overline{aa_1} + \overline{bb_1}) : (\overline{bb_1} - \overline{aa_1}).$$

Z podobnosti $\triangle aca_1$ a $\triangle bcb_1$ plyne

$$\overline{bb_1} : \overline{aa_1} = a : b,$$

pročež

$$(\overline{bb_1} + \overline{aa_1}) : (\overline{bb_1} - \overline{aa_1}) = (a + b) : (a - b),$$

nebo

$$(a + b) : (a - b) = \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} : \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2}. \quad (\text{Věta tangentová}).$$

Rovnice této také dospějeme, dělíme-li I. rovnici Mollweidovu II. rovnicí.

Promítneme-li strany $\triangle abc$ do některé jeho výšky, vyvodíme tím větu sinovou a cosinovou.

Jest totiž

$$b \sin \alpha = a \sin \beta = v_c$$

a

$$b^2 - b^2 \cos^2 \alpha = a^2 - (c - b \cos \alpha)^2 = v_c^2,$$

pročež

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha.$$

Interference zvuku.

Napsal

Dr. Vladimír Novák,
professor české techniky v Brně.

V učebnicích fyziky předesílá se akustice a optice úvod, jednajíc o pohybu kmitavém a vlnitém. Klade se tudíž oběma

naukám o zvuku a světle též theoretický základ. Příslušné partie obou nauk nebývají však vykládány dosti souměrně vzhledem k zmíněné společné půdě theoretické. Tak na př. nejedná se o přímočarém šíření se zvuku, o difrakci a interferenci zvuku tak jako se prodlévá u těchto partií v optice, ačkoliv podkladem dějů akustických jest vibrační pohyb hmoty, kdežto u zjevů optických je to jen *hypothetický* éther.

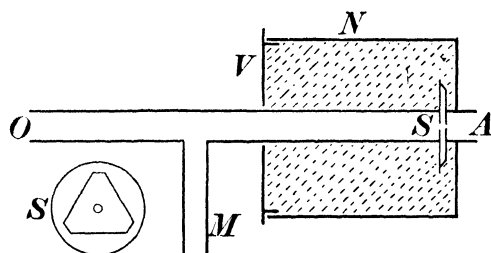
O přímočarém šíření se zvuku a světla přesvědčujeme se tehdy, když v ústředí isotropickém, kterým jest zdroj obklopen, nalézá se nějaká překážka. Překážka tato může býti dvojího způsobu, může buďto omeziti z dopadající vlny jistou část, která jest schopna dalšího postupu v témž ústředí, anebo nedovoluje tato překážka určitě omezené části vlny dalšího postupu. V tomto případě mluvíme o stínících předmětech, v onom pak o šterbinách a otvorech. Při základním předpokladu pohybu vlnivého vede theoretická úvaha v hořejších případech vždy též k úkazu difrakce. Difrakce tato stává se patrnou, po případě i převládá nad šířením přímočarým, při zvláštních vztazích mezi délkou vlny a velikostí překážky. Tak lze demonstrovati ohyb světla jen při šterbinách a hranách úzkých, poněvadž délka světelné vlny jest malá, naproti tomu jest úkaz ohybu akustického velmi častý, poněvadž otvory a překážky vlnám akustickým v cestu postavené jsou délce vlny přiměřené.

Ohromné rozdíly v délkách obyčejné vlny akustické a optické jsou hlavní příčinou, proč se souhlasné partie akustiky a optiky paralelně a rovnocenně neprobírají. Z tohoto stanoviska zdají se mi akustické pokusy interferenční, které roku 1902 provedl *lord Rayleigh*,*) velmi důležité, tak že neváhám tu podati popis jich reprodukce s těmi změnami, které byly buďto prostředky laboratoře určeny, aneb které se mi zdály býti výhodnějšími.

Základní myšlenkou Rayleighovou sblížení zjevy optické s akustickými na téže experimentální půdě, jest zmenšiti délku vlny akustické až na délku několik *cm*, po případě i *mm*. Rayleigh užil k pokusům svým píšťalky, známé u nás pod jménem

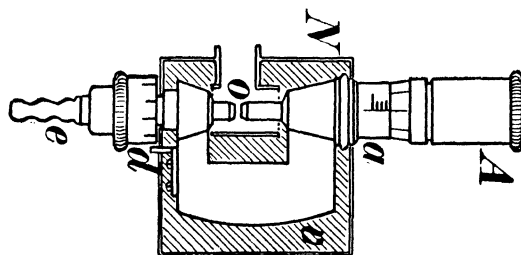
*) Lord Rayleigh; „Interference of Sound“. Nature 66. 42. 1902. Ref. viz Z. f. Instruk. 22. 342. 1902.

„slavík“, kterou montoval způsobem v obr. 1. naznačeným. „Slavík“, při S naznačený, sestával z kruhového kovového plíšku (asi 1.5 cm v průměru), k němuž přiletován na zahnutých rozích druhý plíšek trojbranný, odstávající od předešlého as o 0.5 mm . Oba plíšky opatřeny byly proti sobě otvorem kruhovým o průměru asi 0.5 mm .



Obr. 1.

Píšťalka rozezvučena byla proudem vzduchu (nebo kyslíčků uhlíčitých), který přiváděn k trubici OA otvorem O ; tlak plynu kontrolován manometrem připojeným u postranní trubice M . Aby zvukové vlny vycházely pouze otvorem A , přesunut jest přes trubici OA širší váleček N , který vycpán vatou a uzavřen víkem V , které k stěnám nádoby N těsně nepřilehá.



Obr. 2.

Popsané zařízení změnil jsem užitím *píšťalky Galtonovy* místo neproměnné píšťalky Rayleighovy. Uspořádání ukazuje obr. 2. Píšťalku Galtonovu v úpravě Edelmannově lze rozšrou-

bovati na tři části; prostřední část ve tvaru U má v ramenech svých 2 otvory, šroubovými závity opatřené, do nichž se z jedné strany zašroubuje násadec *ed*, z druhé pak část, obsahující vlastní resonující sloupec vzduchový *aA*. Střední část píšťalky umístí se uprostřed válcového pláště *N* (ze zinkového plechu), který se vyplní vatou (*v*) a uzavře volně přiléhajícími víčky, jež tvoří půdici válce. Půdici tyto jsou opatřeny otvory tak, aby dolejší půdicí dala se prostrčiti část u *d*, hořejší pak část u *a*. Válec *N* opatřen jest nízkou válcovou trubičkou proti otvoru píšťaly *O*; celek držen jest velikou svorou železného stativu Bunsenova, které lze dáti libovolnou polohu.

Úprava tato osvědčila se velmi dobře a měla tu výhodu, že bylo možno délku vlny (výšku tonu) snadno měniti a při tom jak velikost otvoru píšťaly (na škále *d*), tak hloubku resonujícího sloupečku vzduchového (při *a*) odečítati.

Jako indikátoru akustického rozruchu užíváno bylo *citlivých plamenů plynových*.*) Ze skleněné trubice 12 mm v průměru (silnějšího skla) vytaženy konické hořáky, jež na konci kruhových otvorů jemně byly přibroušeny. Citlivost plamene záleží na velikosti otvoru hořáku a tlaku plynu.

Čím menší jest otvor hořáku, tím vyššího tlaku plynu jest potřebí, aby dosaženo bylo plamene citlivého. Plameny ze širších hořáků jsou široké a dlouhé, z úzkých hořáků hoří plyn plamenem úzkým, poměrně nižším a spíše zahroceným. Citlivý plamen jest vždy u hrotu neklidný. Celkem bylo zhotoveno 8 hořáků s otvory, jichž průměr postupoval od 1.4 mm až k 2.1 mm. Poněvadž tlak plynu z potrubí plynovodu (odpoledne 4.4 cm vody, večer 3.1 cm vody) k citlivým plamenům nepostačoval, plněn plynem objemný plynojem, z něhož teprvé veden plyn k hořákům, a to pod tlakem, který bylo možno až do 12 cm vodního sloupu libovolně zvětšovati a stálým udržovati. Při tlaku 4.4 cm reagovaly hořáky průměru 1.9—2.1 mm zcela zřetelně, zejména na tony vysoké; byl-li tlak stupňován, zvětšovala se citlivost a rozšiřovala se i na tony hluboké, tak že při tlaku 7 cm plamen reagoval na každé promluvené slovo ze vzdá-

*) Velice dobře osvědčil se též plamen acetylenový; tvoření sazí jest však při něm velmi nepříjemnou okolností.

lenosti několika metrů — na tony vysoké reagoval pak ze vzdálenosti 10 a více metrů neobyčejně mohutně, méně svou délkou o 50%. Pro pokusy interferenční nejlépe se osvědčily hořáky o průměru 1·6—1·7 mm při tlaku 8·0—9·0 cm vody. Citlivost jich jest sice mnohem menší než při hořáku dříve popsaném, jest však výhodno spokojiti se touto menší citlivostí, poněvadž při citlivosti přílišné nelze dostatečně odstraniti vliv odrazu zvuku od stěn, stropu, podlahy atd.

Hořáky s otvorem 1·4—1·5 mm při tlaku 9—10 cm vody reagují na stále znějící vysoké tony tak, že změni úplně svůj tvar a podržují ustálenou novou tuto formu plamene, pokud vysoký ton zaznívá.

Hořák upevní se v stativu a to tak, aby otvor jeho byl ve výši otvoru píšťalky Galtonovy. Na stůl, na němž stativy nesoucí hořák a píšťalku stojí, narýsujeme křídou přímkou a podél ní posunují se pak oba stativy, jsou-li trojnohé na př. tak, že dvě nohy stativu běží po přímce. Hořák i píšťalka zapnuty jsou do svých stativů tak, že otvor obou leží na přímce s dolejší přímkou rovnoběžné.

Poněvadž odraz zvuku od stěn, podlahy a pod., vždy poněkud ruší při pokusech, jež v dalším budou uvedeny, jest radno vzdáliti stůl, na němž experimentujeme od stěn a postavit jej na př. osou podél přednáškové místnosti symmetricky ke stěnám a experimentovati směrem k posluchačům, poněvadž odraz z této strany je nejméně pravidelný a tudíž nejméně překáží.

Pokusy, které lze při popsaném uspořádání provésti, jsou velmi četné a vesměs instruktivní, zde buďtež uvedeny ty, které se mi zdají zvláště dobře doplňovati zjevy akustické po stránce známých úkazů optických.

Interference vln odrazem, vlny stojaté, měření délky vlny.

Kolmo na přímkou na stole v rovině vertikální umístíme desku skleněnou (okenní tabuli 80×80 cm), za ní pak (ve směru od posluchačů) citlivý plamen a v téměř směru píšťalku Galtonovu ve vzdálenosti asi 50 - 60 cm. Posunováním hořáku nalezneme

snadno při znění píšťalky místa uzlová, která vznikají interferencí vlny dopadající a odražené, a jež se vyznačují nápadným uklidněním se plamene, který v místech jiných silně na vysoký ton píšťalky reaguje. Místa tato lze naléztí velmi přesně, jak o tom svědčí dvě následující pozorování, při nichž odečítáno pouze na 1 *mm*.

Vzdálenost uzlů od desky		Vzdálenost uzlů od desky	
5·9 <i>cm</i>	rozdíly	5·1 <i>cm</i>	rozdíly
9·2 "	3·3	7·5 "	2·4
12·3 "	3·1	9·9 "	2·4
		12·4 "	2·5
		15·0 "	2·6

V prvním případě jest délka vlny $12·3 : 2 = 6·2$ *cm*, ve druhém $15·0 : 3 = 5·0$ *cm*.

V obou případech byl otvor píšťalky 2·1 *mm* široký; v prvním byla hloubka píšťalky 14·0 *mm*, v druhém pak 11·28 *mm*. Prvému případu odpovídá dle tabulky Edelmannovy ton 5214 kmitů, druhému případu pak ton 6500 kmitů, tedy délky vlny 6·3 *cm* a 5·1 *cm*, což jest souhlas vzhledem ke způsobu měření úplně uspokojivý.

Výška tonu 6500 kmitů se osvědčila velmi dobře ve všech pokusech níže uvedených; není tím však řečeno, že nelze sestoupiti k vlnám ještě kratším. Lord Rayleigh u některých píšťalek docílil tonů až 50.000 kmitů, které však již nejsou slyšitelné, tak že pokusy jimi prováděné nejsou provázeny dojmem zvuku nepůsobí jako akustické.

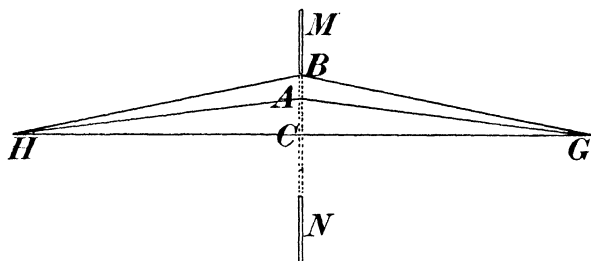
Pokus Lloydův.

Mezi plamen citlivý a píšťalku Galtonovu podrží se dlouhá deska skleněná (stačí též hladké prkno) tak, aby ležela téměř vodorovně, a to asi o 2 *cm* níže než jest přímka, spojující otvory píšťalky a hořáku. Hořák reaguje na postupnou vlnu úplně zřetelně, při určitém sklonu desky však interferuje vlna přímo na hořák dopadající s vlnou od desky odraženou, tak že plamen se uklidní.

Pokus tento se zvlášt nápadně ukáže při uspořádání předešlém, kdy napřed postavíme hořák před desku skleněnou do místa největšího vychvěje; pak teprvé přidáme desku horizontální. Při určitém sklonu plamen se úplně uklidní.

Pokus difrakční.

Do silné lepenky tvaru čtvercového (asi 80×80 cm) vyřízneme*) otvor kruhový o poloměru 16.0 cm a do kotouče, který z desky vypadne, soustředný otvor kruhový o poloměru 11.3 cm. Na desku připevní se dva háčky na vyříznuté mezikružích a kru-



Obr. 3.

hovou desku, pak dvě očka na tak dlouhých drátech, aby se buďto mezikružích nebo střední kotouč lepenky dal pověsiti na místo původní. Citlivý plamen postavíme ústím hořáku (H) do osy otvorů kruhových na jednu stranu od desky, na druhou stranu v téže přímce umístí se Galtonova píšťalka (G) (viz obr. 3.). Hořák i píšťalka buďtež ve stejných vzdálenostech od desk MN , na př. 50.4 cm. Pak liší se dráhy HBG od HAG a tato od HCG

$$\text{o } 2\sqrt{50.4^2 + 16.0^2} - 2\sqrt{50.4^2 + 11.3^2}$$

$$\text{respektive } 2\sqrt{50.4^2 + 11.3^2} - 2 \cdot 50.4$$

čili o 2.5 cm v obou případech.

*) Nejlépe pilkou lupenkou.

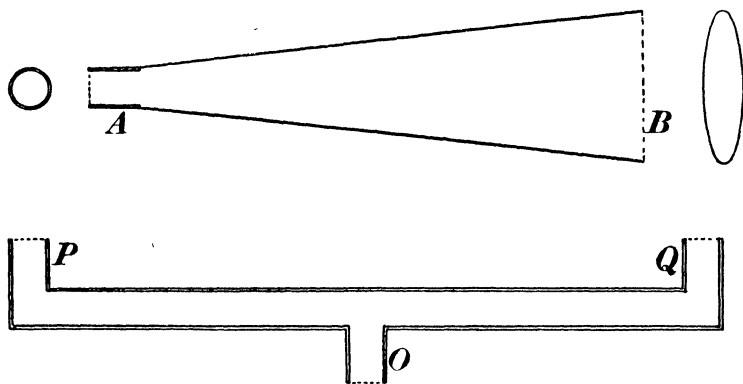
Vydává-li píšťalka ton 6500 kmitu, povstávají ve vzduchu vlny 5.0 cm dlouhé a jest $HBG - HAG = HAG - HCG = \frac{\lambda}{2}$

Pokus při takto určeném sestavení ukazuje při zastřených obou otvorech jen nepatrnou reakci plamene, která povstává vlnami od stěn odraženými. Otevřeme-li oba otvory (mezikruží i kruh), nezmění se tato reakce plamene na důkaz, že obě půlvlnová pásma se v účinku svém ruší. Zakryje-li se však jen jedno pásmo, ať již mezikruží nebo kruh pro sebe, nastane silná reakce plamene.

Pokus je velmi nápadný a pěkným úvodem k pokusům, jimiž se nápodobí známé zkušenosti, učiněné s hláskými rohy při plavbě pobřežní.

Pokusy s rohy.

K těmto pokusům zhotoví se z tenkého plechu měděného dva konické rohy s otvorem elliptickým na straně širší, s otvorem kruhovým na straně užší a násadec k rozdělení cesty zvuku (viz obr. 4.).



Obr. 4.

Vhodné rozměry jsou: délka $AB = 20$ cm, kruhový průřez u A takový, aby se zde dal přímo nasadit na ústí píšťalky Galtonovy nebo na konec trubice při P nebo Q .

Otvor rohu, jímž zvuk vychází, byl *elliptický*, rozměrů 5 cm a $1\cdot2\text{ cm}$. Malá osa elliptického otvoru nemá být delší než $\frac{\lambda}{2}$, velká osa může být 2λ a větší.

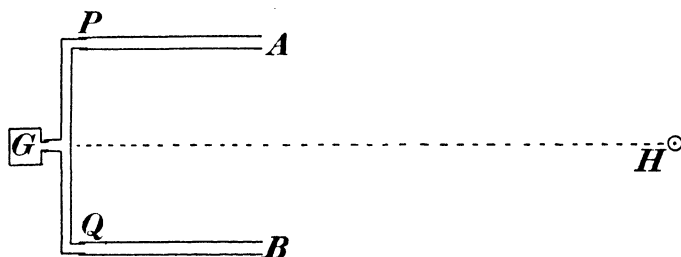
Především nasadí se roh koncem A na otvor píšťalky Galtonovy a postaví se do osy jeho otvor hořáku do vzdálenosti 130 cm (po př. i větší) od ústí rohu. Zvučí-li píšťalka vysokým tonem, reaguje plamen citlivý na postupnou vlnu velmi mohutně, a to stejně ať jest hlavní osa elliptického otvoru rohu stočena jakkoli. Nechť jest elliptický otvor stočen hlavní osou do polohy vertikální a nechť stáčí se osa rohu v rovině vodorovné od původního směru, tak že již roh více k plameni nemíří. Roh je možno stočiti o 30 a více stupňů a plamen přece stále reaguje na vlny, které k němu ohybem dospívají. Stočí-li se při tomto postavení osy rohu hlavní osa elliptického otvoru do roviny vodorovné, pak reakce plamenu přestane; položíme-li však do směru osy skleněnou desku, lze odrazem přivést plamen k opětné reakci. Stočí-li se osa elliptického rohu od plamenu v rovině horizontální as o 60° , pak jest vliv sklonění hlavní osy ellipsy tím patrnější. Pokusy tyto ukazují velkou výhodu rohů elliptických, užívá-li se jich jako hlásné trouby při plavbě pobřežní. Kužel, do něhož se působení rohu elliptického rozkládá, má otvor $150\text{--}160^\circ$, t. j. více než dvojnásobný při rohu s otvorem kruhovým.

Interferenční pokusy akustické, jež jsou analogické optickým pokusům o interferenci dvou koherentních zdrojů, provedou se snadno dvěma elliptickými rohy, jež se nasadí na konce P a Q (viz obr. 5.) násadce, kterým se zvuk píšťalky rozvětjuje ve dvojí symmetrickou cestu.

Osy rohů A a B položí se horizontálně a rovnoběžně se základní přímkou GH , spojující otvor píšťalky G s otvorem hořáku H . Vhodná vzdálenost GH byla 90 cm . Při správném postavení rohů reaguje citlivý plamen velmi mohutně. Zakryje-li se otvor jednoho rohu dlaní, zmírní se reakce plamenu. Střídavým zakrýváním A a B se pozorovatel přesvědčí, zda-li oba rohy reagují stejně. Tímto pokusem lze znamenitě odhaliti vliv stěn síně, kde se pokusy provádí.

Stočí-li se celé zvukové zařízení kolem bodu G v rovině vodorovné jen nepatrně, ukáže se interference způsobená rozdílem dráhy AH a BH velice krásně. Že obě vlnění k plamenu přicházejí, demonstruje se zakrytím jednoho neb druhého rohu.

Interference rozdílem dráhovým dá se ukázati též dvojitou trubicí Koenigovou, jejíž jedno rameno, složené ze dvou v sebe zasunutých trubic, dá se prodlužovati. Střední trubice příčná připojí se přímo k píšťalce Galtonové, její pak pokračování namíří se proti citlivému plamenu. Pokus tento je tím velice instruktivní, že vysoký ton, jinak i na velkou vzdálenost slyšitelný při úplné interferenci téměř docela umlká. Také tímto uspořádáním lze měřiti vzdálenost uzlů a určití z toho výšku tonu.



Obr. 5.

I při symmetrickém postavení rohů v pokuse hořejším lze ukázati interferenci zvukových vln, vloží-li se do cesty vrstva plynu od vzduchu hustotou se lišící. Rayleigh upravil dvě válcové nádoby, jichž půdnice utvořeny byly z filmu celluloidového a jež postranními, do stěn ústícími trubicemi mohly býti naplněny plynem.

Filmy připraveny opatrným nalitím celluloidu rozpuštěného v oleji hruškovém na povrch vody. Výška válcových nádob v zvolena tak, aby $0.25 v = \frac{\lambda}{2}$, při tom užito v jedné nádobce vzduchu, ve druhé kysličníku uhličitého.

Poměr rychlostí, kterými postupuje zvuk vzduchem a kysličníkem uhličitým, jest dán převráceným poměrem odmocnin

z hustoty obou plynů, tedy zlomkem $\frac{1}{\sqrt{1.53}} = \frac{1}{1.25}$, jest tedy retardace ve vrstvě kysličníku uhličitého tloušťky v rovna $0.25 v$. Rovná-li se pak tato retardace poloviční délce vlny, interferují obě vlny zvukové tak, že plamen hoří klidně.

Netřeba snad připomínati, že pokusy interferenční se dvěma rohy lze tak upravit, že lze jimi stanoviti délku akustické vlny ve vzduchu.

Uvedenými pokusy není zajímavé thema analogie akustických a optických zjevů nikterak vyčerpáno, na tomto místě byly vybrány pokusy takové, jimiž společný theoretický podklad obou nauk, akustiky i optiky, byl experimentálně dostatečně a poučně potvrzen.

Pokus z elektrostatiky.

Podává

Dr. V. Posejpal na Královských Vinohradech.

Bude tomu právě rok, co kollegu Mareše a mne v kabinetě fysikálních sbírek reálky v Hradci Králové zajímal zjev, který jmenovaný kollega náhodou objevil a kterému se dostalo té cti, že byl v nejnovější době z jiné arcif strany prohlášen, ač zcela nevinně, za sensační vynález nedozírného snad dosahu; chci jej krátce popsati a vysvětliti.

Osušíme-li dobře (nebo po případě zahřejeme-li mírně) na citlivé bussole sklo, které obyčejně příkrývá magnetku deklinanční, a pak prstem rovněž suchým několikráte po této desce skleněné do kola mírně se dotýkajíce jedeme, shledáme, že jehla magnetická na pohyby naší ruky počne reagovati a sice, čím déle rukou naznačeným způsobem pracujeme, tím živěji, tak že konečně lze jehlu uvéstí do více méně rychlé rotace. Zvedneme-li prst a pak znovu se přiblížíme desce skleněné a sice na místě, které leží právě nad některým pólem magnetky, pozorujeme, že prst náš magnetku odpuzuje.