

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

František Kaňka

O silovém akustickém poli. [V.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 40 (1911), No. 3, 318--345

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123229>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1911

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>

kteřá každoročně vydává své zprávy o postupu prací. Tím zavedeny práce soustavné, z nichž se seznalo, že země jest geoidem, jehož tvar závisí na seskupení hmoty zemské. Poněvadž však pro výpočty se geoid dobře nehodí, nahraňuje se typickým ellipsoidem ku př. Listingovým, který s geoidem má stejný obsah a co nejméně se od něho odchyluje. Protože pak odchylky geoidu od sferoidu zůstávají v mezích ± 100 m, můžeme je pro účely parallaxy zanedbatí a zemi považovati za rotační sferoid.

(Pokračování.)

O silovém akustickém poli.

Rozšířená přednáška o IV. sjezdu přírodopytců a lékařů českých v Praze r. 1908.

Napsal František Kaňka, professor v Praze.

Část III. Pole dvojosé.

A. *Vzájemné akustickodynamické působení dvou osových polí.* *Skládání polí.*

a) Osy¹⁾ resonančních trubic jsou spolu rovnoběžny a před touž rozkmitnou (obr. 1.).

Obr. 1. ukazuje, že obě základní soustavy kroužkové (osové) spolu splynuly a vytvořily složené pole *spojité*. K spojitosti náleží opět vzájemná přitažlivost polí, což lze též na obrazech pozorovati, neboť jsou zbývající střední kroužky z os trubic vysunuty a k sobě sblíženy. Konáme-li pokusy tohoto druhu, měníce vzájemnou odlehlost obou trubic, ukáže se, že se zbylé střední kroužky tím více k sobě přibližují, čím jest vzájemná odlehlost menší. Přitažlivost vzniká v tomto případě vzájemným tahem *zkracujících* se vírných trubic.

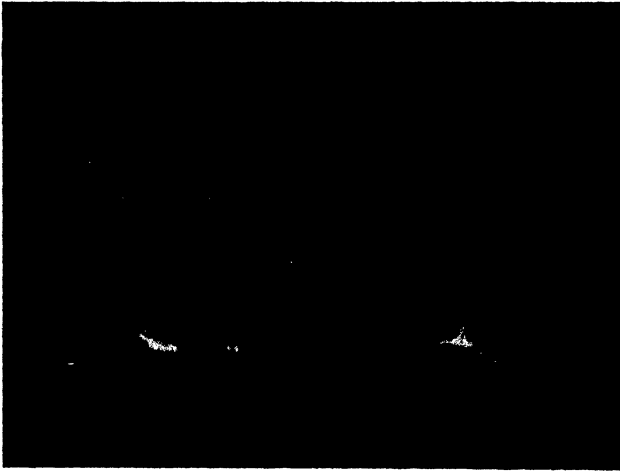
Dáme-li před otvory obou trubek několik kousků dřeneé ze sítiny (asi 3 mm dlouhých), shledáme, že se kousky točí kolem svislé osy *souhlasným* směrem na obou základních polích.

Z tohoto pokusu poznáváme, že jsou před touž rozkmitnou osová pole *stejnoseměrná*. Celkem platí věty: *Stejnoseměrná*

¹⁾ Poznam.: Pozorování naše budou se hlavně týkati reson trubic, jichž podélné osy jsou v rovině vodorovné.

osová pole se skládají na výslední pole *spojité*; *spojitost* výsledního pole je známkou vzájemného *přitažení*.

Z nich pak plynoucí akustickodynamický zákon zní : *Stejněsměrná osová pole se navzájem přitahují.*



Obr. 1.

b) Osy rezonančních trubic jsou rovnoběžny a před sousedními rozkmitkami (obr. 2.).

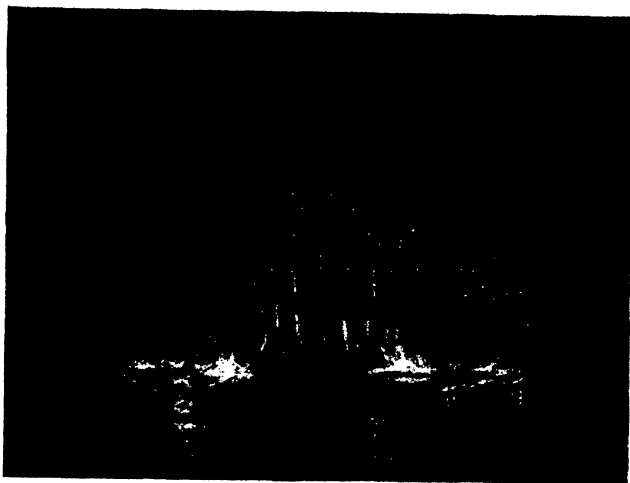
Obě základní pole zůstala od sebe oddělena; výslední pole jest *rozpojité*. Rozpojitost polí prozrazuje vzájemné *odpuzení*, takže, vykonáme-li několik pokusů toho druhu, méněce vzájemnou odlehlost trubic, se přesvědčíme, že s menšíci se vzdáleností trubic přibývá odlehlosti středních částí základních kroužků.

Odpudivost těchto osových polí si vysvětlíme *příčným tlakem* kolmého směru na vóry akustické.

Položíme-li několik kousků sítiny před otvory obou reson. trubic, zpozorujeme, že se kousky otáčejí kolem svislé osy v obou částečných polích navzájem *protivným směrem*; obě osová pole jsou *protisměrná*.

Nabyli jsme tím vět: *Protisměrná* osová pole se skládají na výslední pole *rozpojité*; *rozpojitost* výsledního pole je známkou vzájemného *odpuzení*.

Z nich jde akustickodynamický zákon: *Protisměrná osová pole se navzájem odpuzují*.



Obr. 2.

Důsledky z případů *a*) a *b*) plynoucí:

1. Oba případy složitých polí jsou výsledky *současného působení* (superposice) základních pohybů prstencových.

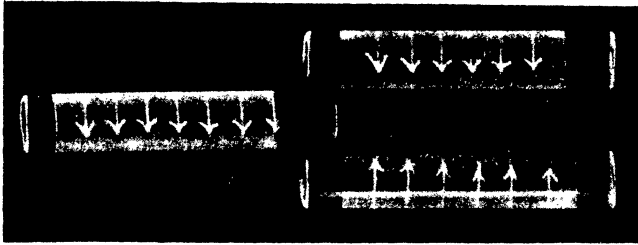
2. *Stejnoseměrnost* polí jest dána souhlasnými fasemi stojatých vln příčných (rozkmiten), tedy i souhlasnými fasemi stojatých vln podélných v rozkmitaných vzduchových sloupcích res. trubic.

3. *Protiseměrnost* polí jest následkem protivných fasí stojatých vln příčných na sousedních rozkmitnách, tedy i protivných fasí vzduchových stojatých vln podélných v užitých reson. trubicích.

4. Prstence z reson. trubic unikající mají proti téže rozkmitně otáčivý smysl *souhlasný*, proti sousedním rozkmitnám

nesouhlasný; možno tedy *stejnoseměrná* pole nazývati *souhlasnými*, *protisměrná nesouhlasnými*.

5. Vírné silové trubice mají vlastnost solenoidů, jež si můžeme znázorniti třemi trubicemi, na nichž jest označen směr kroužících částecek kolem vírné osy:



Obr. 3.

Kroužení na svrchní trubici po pravé straně jest souhlasné, na spodní protivné s kroužením částecek na trubici levé.

Vírné trubice, jejichž částecky krouží souhlasně, mohou se scelovati, semknouti se v jednu; přitahují se.

Vírné trubice, jejichž částecky krouží nesouhlasně, nemohou se nastaviti, v jednu spojití; odpuzují se. Vlastnosti prstencového víření se uplatňují (srov. s II. částí B. a).

6. Dle II. části B. a) tohoto pojednání jest spojení reson. trubice s kmitající stěnou sklenice přístrojem na tvoření prstenců. Při každém výkmitu stěny ku předu (t. j. k reson. trubici) unikne prsteneček z trubice u odlehlejšího konce a při každém výkmitu stěny do zadu (t. j. od res. trubice) vnikne prsteneček vzduchu do trubice na téměř místě.²⁾

Jsou-li tedy reson. trubice před touž rozkmitnou, unikají z nich a vnikají do nich prstence v úplné shodě; jsou-li však reson. trubice před sousedními rozkmitkami, děje se unikání a vnikání prstenců střídavě, t. j. unikne-li prsteneček z jedné trubice, vnikne jiný současně do druhé trubice.

²⁾ Srov. s mými pokusy ve Výroční zprávě g. mn. v Domažlicích, 1897, str. 6.

Zjevno tedy, že na shodném unikání a vnikání prstenců závisí *stejnoseměrnost*, na střídavém *protiseměrnost* obou základních polí.

7. Budiž zde vytknuta obdoba akustickodynamického působení polí osových s elektrodynamickým působením kroužkových polí proudů galvanických.

I dva stejnoseměrné proudy galvanické jsou zdroji dvou základních polí osových, jejichž silokřivky jsou téhož smyslu, tedy též *stejnoseměrné*; jejich výslední pole jest *spojité*.

Kolem protiseměrných galv. proudů jsou kroužková pole opačného smyslu, tedy též *protiseměrná*; a i zde náleží k protiseměrnosti polí výslední pole *rozpojité*.

Platí tudíž věta: *Stejnoseměrná (souhlasná) osová pole akustická neb elektromagnetická skládají se v pole spojitá, protiseměrná (nesouhlasná) však v pole rozpojitá. U stejnoseměrných se jeví vzájemná přitažlivost, u protiseměrných vzájemná odpudivost.*

c) Souosá silová pole.

a) Hlavní i vedlejší res. trubice jsou otevřeny.

Položme jednu rezonanční trubici (hlavní) na tabulku, již jsme korkovým prachem posypali, před rozkmitnu sklenice a připojme k ní druhou (vedlejší) tak, aby jejich podélné osy splývaly a aby byly protilehlé otvory od sebe asi 2 cm vzdáleny (obr. 4.).

Rozchvějí-li se spolu obě trubice, vzniknou dvě kroužkové soustavy, které v sebe působíce *spojité* pole vytvářejí.

Z tohoto pokusu lze vzhledem k předešlým důsledkům souditi, že obě se skládající pole základní jsou *stejnoseměrná*, a že mají zúčastněné části stojatých vln vzduchových *fáze stejné*.

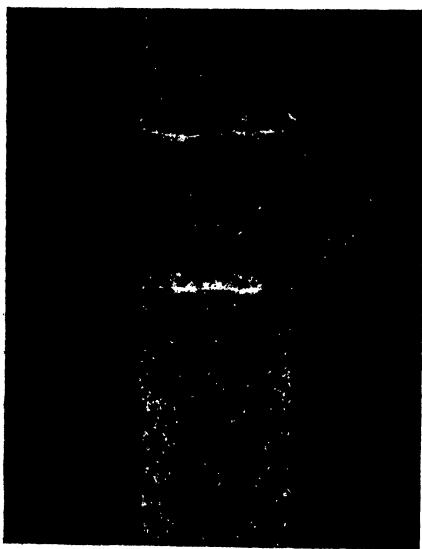
Část obou kroužků, pokud v sebe pro vzdálenost působiti nemohou, udrží si svou samostatnost; ostatní, majíce smysl otáčení souhlasný, spolu splynou a klenou se od trubice k trubici, obalujíce kroužky vnitřní.

Vzájemnou přitažlivost obou polí lze pozorovati na posunutých kroužcích trubice hlavní k trubici vedlejší.

β) Hlavní reson trubice jest otevřená, vedlejší jednostranně krytá.

Je-li vedlejší trubice krytá, vytvoří se opět dvě soustavy osové (obr. 5.), jejichž víry si samostatnost udržují, skládající pole *rozpojité*.

Rozpojitost polí prozrazuje protisměrnost akustických vírů a opačnost fází zúčastněných částí stojatých vln vzduchových sloupců. V celku jsou sice pole protisměrná, ale hraničící kruhy mají směr týž, takže se na tom místě k sobě *přirazují*, vzájemně se nerušíce.



Obr. 4.

Na tomto přirazování se rozpojitých polí zakládá se zesilování pole krytou reson. trubicí nebo dutinou jednostranně krytou, která zastupuje a značí rozšířenou reson. trubicí. Možno si ji poříditi přiklopením skleněné desky na pole a na hlavní trubku resonanční (srov. s II. částí B. b).

Odpudivost základních polí, náležející tomuto poli rozpojitému, se ukazuje na obr. 5. stlačením kroužků u trubice hlavní.

d) Osy reson. trubic stojí na sobě kolmo.

α) Hlavní i vedlejší trubice jsou otevřeny.

Příslušný pokus znázorňuje obr. 6.

Obě osově soustavy činí pole *spojité*, vnější kroužky se zcelily a obepínají zbývající kroužky vnitřní, přisávajíce se zároveň k místům dotyku trubic s tabulkou.

Víry obou soustav jsou stejnosměrné, fase stojatých vln se neliší a vzájemná přitažlivost jest patrna na pošinutých kroužcích trubice hlavní k trubici vedlejší.

β) Hlavní trubice jest otevřená, vedlejší krytá (obr. 7.).

Pole výslední jest *rozpojité*, obě soustavy jsou protisměrné, fase v sebe působících stojatých vln jsou protivné a srovnáme-li je s předešlým obrazcem, poznáme, že se základní pole od sebe tlačí.

e) Stejným způsobem působí v sebe osová pole, když jest vedlejší reson. trubice svíslá, nebo když obě trubky jsou svíslé s podobnými kombinacemi trubic otevřených a krytých, jak byly nahoře probírány.

f) Poněvadž vzniká za kmitající *blanou* též pole *osové* (II. část A. 2.), dá se předpokládati, že by taková dvě v sebe působící pole osová se skládala dle týchž zákonů, jako kroužkové soustavy za trubicemi resonančními, t. j. že by blány, v *souhlasných* fasích kmitající, vytvořily pole *spojité* a v *protivných* fasích chvějící pak pole *rozpojité*.

Pole *spojité* by bylo složeno ze základních polí stejnosměrných, *rozpojité* z protisměrných. *Spojité* by bylo provázeno vzájemnou přitažlivostí, *rozpojité* vzájemnou odpudivostí v sebe působících osových soustav, ať by zaujímaly jakoukoli k sobě polohu.

Vzhledem k 7. důsledku, napřed vytknutému, dají se pokusy s kmitajícími blánami srovnávat s účinky osových polí elektromagnetických, nikoli však se vzájemným působením polí trvalých magnetů, jak to učinili Bjerknés a Stroh³⁾.

³⁾ J. E. H. Gordon, A physical treatise on electricity and magnetism. 1891, II. díl str. 36—76.



Obr. 5.



Obr. 6.

B. Vírná indukce a polarita těles ve složených polích.

Proměna polí složených tělisky kulatými nebo hranatými opět přesvědčí jako v poli jednoosém (II. část) o vírné indukci i o polaritě, a budeme je moci též pozorovati na obrazcích níže položených, k nimž bylo použito krycí, sesilovací desky.

1. Povšimneme-li si obrazce 1. této III. části, shledáme, že jsou strany reson. trubic — jež přece též v poli leží — určitě akusticky upóleny pořadím : — + — +, takže se obloukové silokřivky rozpínají nad vnějšími, protivně upólenými stranami trubic.

2. Na obrazci 2. jest dle toho polarita stran trubic roztržíděna dle pořadí: + — — +. Vnější strany jsou upóleny kladně, vnitřní záporně.

3. Pozorujme ve spojitém poli obrazce 8. dva kotoučky (10 gr závaží), jež jsou na podélných osách reson. trubic $\frac{1}{2}$ cm vzdáleny od otvorů. Trubice se nalézají před touž rozkmitnou.

V přetvořeném poli (srov. s III. částí obr. 1.) lze rozeznávat části vnější a vnitřní. Silokřivky na vnějších částech pole se opírají o stěny reson. trubic, na vnitřní části splývají většinou v pole spojitě a jen jejich díl se opírá o sousední stěny reson. trubic.

Vyčítáme-li z obrazce průběh silokřivek od pravé strany k levé, můžeme říci: Kolik silokřivek do pravého tělíska vchází, tolik jich z něho vychází; tyto jsou pak většinou poutány kotoučkem levým a jen část jich se přimyká k trubici pravé.

Poněvadž stejné kotoučky poutají v témž poli stejný počet silokřivek, tvoří počet těch, které do levého tělíska vcházejí, s těmi, které se pravou stranou levé trubice upoutávají, právě tolik silokřivek, kolik jich z levého koutoučku vychází.

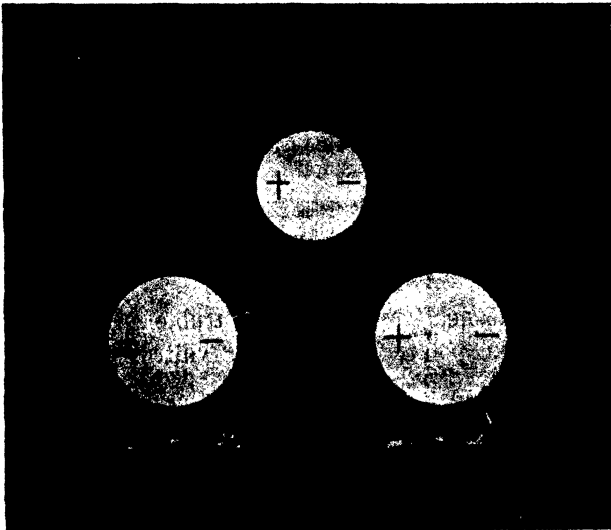
Označíme-li dle průběhu silokřivek pravé strany trubic kladně a levé záporně, budou pravé strany kotoučků záporné a levé kladně akusticky upóleny.

4. Indukce a polarita v rozpojitém poli.

Mějme touž úpravu pokusu jako prve; stočme pouze uzlinu sklenice proti mezeře reson. trubic (obr. 9.).

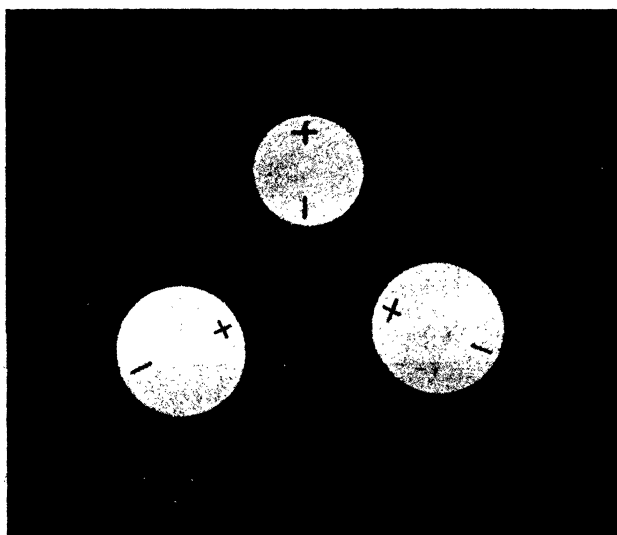


Obr. 7.



Obr. 8.

Přehled o roztrídění polarity si učiníme, přijmeme-li, že jsou stěny trubic upóleny dle pořadí: + — — +. Pak od vnějších stěn, kladně upólených, vcházejí silokřivky do obou kotoučků v stejném množství; taktéž jich stejné množství z kotoučků vychází, malá část se poutá nejbližšími stěnami trubic, většina dává pole rozpojitě, prozrazující, že strany kotoučků, od nichž vychází, mají souhlasnou polaritu.



Obr. 9.

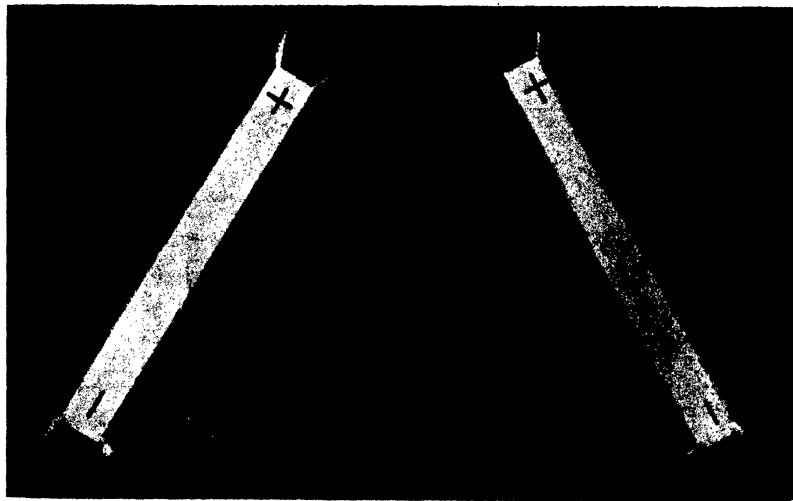
Dle naznačeného upólení stran trubic připadá na vnější polovice kotoučků polarita záporná, na vnitřní polovice polarita kladná.

5. Vděčno jest zkoumati složené pole sbíhavými hranoly. (*Zkušební hranoly.*)

V poli spojitém se vytvoří obraz se stejným vzhledem jako obr. 15. v II. části. Na sblížených odlehlejších koncích utvoří se pole spojitě, svědčící, že konce k sobě obrácené jsou opačně upóleny.

Příslušný pokus s rozpojitým polem jest znázorněn obrazcem 10.

Přijmeme-li, že jsou strany trubíc upóleny opět dle pořadí: + — — +, bude třeba pokládati konce hranolů, jež jsou k trubícím bližší za záporně, konce odlehlejší za kladně upólené. K souhlasnosti pólů na sebe působících náleží pole rozpojitě, jak obrazec ukazuje.



Obr. 10.

Srovnáme-li vnitřní část tohoto obrazce s obr. 2. (III. část), poznáme, že je zúžena a prodloužena patrně spojením se silokřivkami jdoucími od opačných pólů.

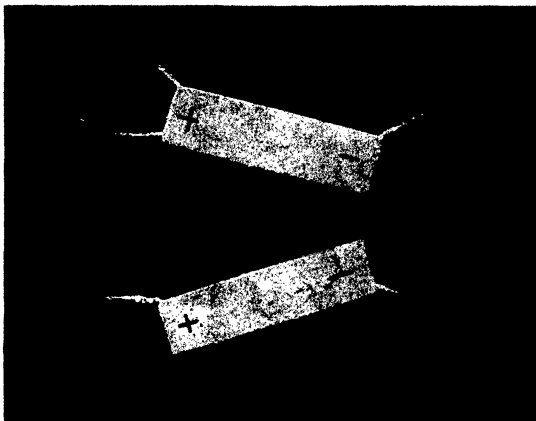
6. Přiložíme-li do spojitého pole k dvěma kotoučkům kotouček třetí (dle obr. 8.), projeví vírnou indukci v pásmu, v němž se nalézá, a upoutá část silokřivek, které náležejí ostatním dvěma kotoučkům.

Dle způsobu, kterým se to děje, možno souditi, že levá polovina tohoto třetího kotoučku jest upólena kladně a pravá záporně.

Při tom lze pozorovati, že se původní pole, které patří oběma reson. trubícím, reson. dutinou pod krycí deskou rozšířilo; neboť jest směr vírných trubíc v celém poli jednotejný.

7. Dáme-li třetí kotouček do pole rozpojitého (obr. 9.), prozradí, že střední jeho část se skládá z vírných trubic stejnoběžných; neboť třetí kotouček sbírá střední trubice a opět vysílá, upóluje se na bližší polovině záporně, na vzdálenější kladně.

8. Do složeného pole, které vzniklo přiřazením nových stejnoběžných vírů pod krycí deskou k poli hlavnímu, vložíme sbíhavé hranolky, jednou tak, aby symmetrála úhlu, jež svírají, stála na silokřivkách kolmo; po druhé, aby byla se silokřivkami rovnoběžna.



Obr. 11.

V prvním případě (obr. 9. I. část) se objeví mezi hranoly pole spojitě, značící opačnou polaritu protilehlých stran; v druhém případě (obr. 11. III. část) vznikají mezi stejnohlými konci pole rozpojitá, náležející souhlasné polaritě.

C. Pohybové účinky složených polí.

a) Pohyb hmot tuhých a plyných.

α) Pohyb postupný.

Pokus 1. Zřizujeme obrazce druhu obr. 1. a obr. 2. (III. část), t. j. polí dvojosých spojitých a rozpojitých, poznáváme, že se usazují korkové piliny — ačkoliv byla tabulka všude

stejněměrně poprášena — na určitých místech hojněji, že má tedy složené silové pole na nich větší přitažlivost k lehkým tělískům.

Abychom se o tom přesvědčili, na kterých místech má přitažlivá síla převahu, konejme pokusy dle obr. 1. a obr. 2. — přiberouce k tomu pole jednoosé (II. část B., *d*) pro srovnání — tak, že tabulky nepoprášíme, nýbrž dáme pouze dosti prachu do trubic resonančních.



Obr. 12.

Jakmile zvukový zdroj zazní, rozpráší se značná část korkových pilin z reson. trubic a usadí se na místech nejpřitažlivějších do tvarů ostře rýsovaných, ale kusých kroužků (obr. 12., 13. a 14.), jež šířící se akustické víry nahrnou. Pokračujeme-li v rozchvívání reson. trubic, prodlužují se řady oblouků, až toho dosáhneme, že se v případech prvním a druhém spojí a ve všech případech se rozhojní.

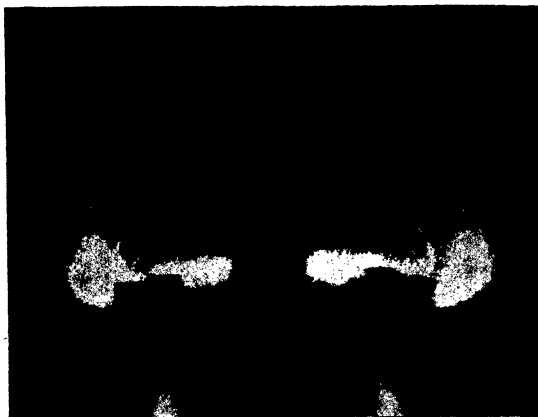
Pozoruhodno jest ustálení obrazců co do tvaru i místa, neboť se vzniklé již řady nikterak nehatí zachvíváním dalším.

Na obrázcích 12., 13. a 14. jest zřetelně viděti, která místa se vyznamenávají značnější přitažlivostí k lehkým tělískům: U všech jsou to hlavně okraje ústí reson. trubic; ve spojitém poli jsou ta místa na nejdlehlších krajích před trubicemi, v rozpojitém však uprostřed před otvory obou trubic.

Pole jednoosé má obrazec souměrný dle podélné osy trubice; u polí složených, spojitého a rozpojitého, se souměrnost obrazce řídí osou, která prochází prostředkem mezi reson. trubicemi.

Pokus 2. Působení složených polí na kuličky z bezové duše. — Přitažlivá místa složených polí mají též vliv na *směr* pohybu sice lehkých, ale značně větších tělísek, než jsou korkové piliny.

Nalézají-li se reson. trubice před touž rozkmitnou, a dáme-li do nich (až k uzlu stojaté vlny) po jedné kuličce z bezové dřevě, nebudou puženy vlnou zvukovou přímočaře polem akustickým, jako se jedinou trubicí děje (II. část B. d)



Obr. 13.

3.), nýbrž odchýlí se vlivem přitažlivých míst (obr. 13.) od společné osy souměrnosti obou trubic, směřující kolmo k akust. silokřivkám. Dráhy obou kuliček jsou křivočaré a rozbíhavé.

Opakujeme-li předešlý pokus v poli rozpojitém (obr. 14.), vyrazí kuličky z trubic ven proti sobě, konajíce dráhy křivočaré a sbíhavé i zachovávajíce směr kolmý k silokřivkám (srov. s I. částí C. 7.).

Kolmo k nejbližším silokřivkám pohybuje se též kulička, konán-li jest pokus dle obr. 6. neb 7. (III. část), t. j. jsou-li

obě reson. trubky k sobě kolmé. Kulička, kterou jedna trubice vypudila, byla druhou vtažena, ať byla vedlejší reson. trubice otevřená nebo krytá.

Z těchto pokusů jde najevo, že jest třeba rozeznávati mezi vzájemným přitahováním, po případě odpuzováním osových soustav (III. část A. *a) b) c) d)* a mezi působením polí složených na lehká tělíska.

Podobný rozdíl shledáváme u složených polí elektromagnetických galvan. proudů stejnosměrných a protisměrných.



Obr. 14.

Pokus 3. Zkoumání složeného pole kyvadélkem s kuličkou z bezové duše a plamenem svíčky. — Následkem různé permeability jsou pohyby těchto dvou zkoumadel i ve složených polích opačného směru, t. j. kyvadélko jest do pole taženo a tedy plamen všude z pole vypuzován.

Zajímavé jsou vlastnosti pole *rozpojitého* mezi osově položenými reson. trubkami, je-li vedlejší krytá (obr. 4.).

Visí-li kyvadélko po některé straně společné, podélné osy obou trubic, je k ní tlačeno směrem společných silokřivek, t. j. kolmo k ose; plamen je tudíž po obou stranách od osy odpuzován, při čemž se zplošťuje dle polohy silokřivek.

Učiníme-li srovnávací pokus současně s kyvadlem a plamenem po téže straně osy trubíc, *přikloní se kyvadélko k ose a odchýlí se plamen od osy.*

Je zjevno, že není možno ponderomotorické úkazy tohoto druhu vykládati akustickým větrem, jak to činí Stroh o složeném poli mezi kmitajícími blanami ⁴⁾.

Pokus 4. Současný pohyb dvou kyvadel aneb dvou plamenů.

Obkračují-li kyvadla společnou osu trubíc v rozpojitém poli, projeví každé působením pole pohyb k ose, tedy k sobě; úkaz se podobá doskoku protivně elektrovaných kyvadel. Doskok je tím větší a prudčí, čím jest větší intensita pole.

Nahradíme-li kyvadélka plameny svíček, odkloní se současně od osy, jakoby byly souhlasně zelektrovány, a opět roste odklon s intenzitou pole.

Tyto dva opačné popudy se projeví též na jediném plameni, nalézá-li se právě na ose: plamen se oboustranně dle polohy silokřivky *rozšíří* a při tom *zkrátí*.

β) Pohyb otáčivý.

1. Kyvadélko s deskou ve složeném poli. —

Zřídíme-li pole spojitě aneb rozpojitě dle některého ze způsobů svrchu vytknutých a užijeme-li kyvadélka s deštičkou na zkoumání pole, dozvíme se, že se rovina desky staví vesměs do polohy silokřivek, t. j. visí-li deska napříč k silokřivkám, otočí se; visí-li ve směru silokřivek, podrží svou polohu, byť by bylo pole sebe silnější. Tak třeba ve *spojitém* poli, mají-li reson. trubice polohu souosou (obr. 4.), zaujme rovina desky, jež se nalézá po straně osy (asi ve stejné vzdálenosti od obou otvorů trubíc) polohu s osou *rovnoběžnou*, v poli *rozpojitém* (obr. 5.) polohu k ose *kolmou*.

K týmž po řadě úkazům dospěl Stroh⁵⁾ s deskou mezi blanami kmitajícími ve fásích souhlasných a protivných; neboť vzniklo zajisté v prvním případě pole spojitě, v druhém rozpojitě.

2. Otáčivé hranolky v sesíleném homogenním poli reson. dutinou pod krycí deskou (II. část B. b. 2.). —

⁴⁾ J. E. H. Gordon, A physical treatise on el. and magn. 1891. II díl, str. 65.

⁵⁾ Tamtéž str. 73. obr. 224.

Úprava přístrojku : Dva korkové čtyřboké hranolky opatříme v těžištích skleněnými lůžky a podepřeme je krátkými svislými jehlami, jež jsme zabodli do společného podstavečku z korku. Jehly jsou otáčecími osami hranolků.

Pokusy : α_1) Vzhledem k ose reson. trubice, která jde prostředkem mezi hranolky a na níž stojí kolmo spojnice pat otáčecích os.

α_1) S jednotlivými hranolky :

1. Pozorujme levý : Nachýlíme-li odlehlejší konec hranolku k ose, stočí se hranolek po ručičkách hodinových ; nachýlíme-li bližší jeho konec k ose, pootočí se hranolek proti ruč. hodinovým.

2. Pozorujme pravý : Nakloníme-li vzdálenější konec k ose, stočí se hranolek proti ruč. hod., nakloní-li se bližší konec k ose, stočí se hranolek po ruč. hodinových.

β_1) S oběma hranolky současně :

1. Sblížíme-li k ose odlehlejší konce hranolků, stočí se hranolky k sobě ; činí to dojem přitažení.

2. Totéž se opakuje, schýlíme-li k ose bližší konce hranolků.

Tvar spojitosti silového pole ukazuje na opačnou polaritu blízkých konců, tedy též na přitažlivost (I. část obr. 8.).

b_1) Vzhledem k normále na ose trubice strmicí a obě pole oddělující. Spojnice pat otáčecích os splývá s osou trubice. Normála jde prostředkem mezi oběma hranolky.

α_1) S jednotlivými hranolky :

1. Pozorujme hranolek vzdálenější : Sblížíme-li k normále pravý jeho konec, pootočí se proti ruč. hod. ; sblížíme-li k normále levý konec, pootočí se hranolek po ruč. hodinových.

2. Pozorujme hranolek bližší : Nakloníme-li pravý konec k normále, stočí se hranolek po ruč. hod. ; nakloníme-li levý konec k normále, nastane otočení proti ruč. hodinovým.

β_1) S oběma hranolky zároveň :

1. Sblížíme-li k normále pravé jejich konce, vzdálí se od sebe ; dojem odpuzení se :

2. Podobný úkaz nastane, sblíží-li se levé konce k normále. Na příslušných obrazcích silových polí (obr. 11.) se objeví rozpojitost, známka souhlasnosti pólů, tedy i akust. odpudivosti.

Z řady pozorování s otáčivými hranolky možno se přesvědčiti o síle řídivé, kterou se podlouhlá otáčivá tělíska stáčejí do polohy silokřivek pokaždé směrem oblouku, který jest rozpiat nad menší odchylkou (deklinací) hranolu od silokřivky.

Poněvadž lze tytéž pokusy se stejným výsledkem vykonati se železnými tyčinkami v homogenním poli magnetickém, lze tvrditi, že působí i akustické pole na otáčivý hranolek dvojími sil, jejíž mohutnost jest závislá na vírné intenzitě akust. pole.

K působení dvojice sil druží se ještě u dvou hranolků skutečné přitahování neb odpuzování se sblížených konců vznikem nových polí: spojitého dle obr. 8. (I. části) nebo rozpojitého dle obr. 11. (III. části).

Jako se staví otáčivý hranolek svou délkou do polohy příslušné silokřivky, tak se chová i dvojkřídly praporeček; z toho jde, že akustické silokřivky, jak je praporečkem vystopoval Stroh⁶⁾ mezi kmitajícími blanami, nejsou správnny. Ve skutečnosti by korkové piliny označily silové čáry směrem stávících se tam praporečků.

b) Měření intenzity akust. pole.

a) Na pokusech s dvěma kyvadélky, na nichž visí kuličky z bezové dřene, obě v týchž silokřivkách (II. část B. e) 7. a III. část C. a) α) 4.), jsme poznali, že jsou tím větším úsilím k sobě tažena, čím jest větší vírná intenzita pole.

Tohoto zjevu lze užití na měření intenzity akust. pole absolutními jednotkami.

Popíšu zde přibližné měření, vykonané v sousém rozpojitém poli dle obr. 5. III. části.

Hmota obou skoro stejných kyvadélek činila $2 m = 0.055 \text{ gr}$ i s nitkami hedvábnými; délka kyvadel $= 25.3 \text{ cm}$; dálka vzájemného doskoku (od povrchu k povrchu) $d = 2.6 \text{ cm}$.

Těžiště každého tělíska bylo při tom zvednuto. Spotřebovaná práce L na zvednutí jedné kuličky do výše AC (obr. 15.) $L = f \cdot AC = mg \cdot AC = mg (AO - CO) = mg (l - l \cos \alpha) = mg (l - l \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})$ takže při $\sin \alpha = \frac{BC}{l}$ jest $L = mg (l - \sqrt{l^2 - BC^2})$ ergů.

⁶⁾ Tamtéž str. 69. obr. 219.

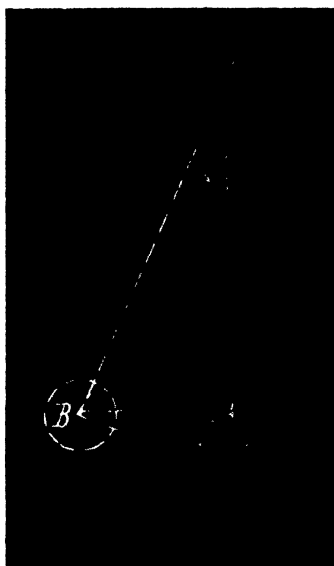
Zavedeme-li pozorované hodnoty :

$$m \doteq 0.0275 \text{ gr } l = 25.3 \text{ cm}, \quad BC \doteq \frac{d}{2} = 1.3 \text{ cm}, \quad \text{obdržíme}$$

$$L \doteq 0.89 \text{ ergu.}$$

Z této práce lze vypočítati akustický tah na jedno tělísko směrem silokřivek.

$$L = f_1 \cdot \frac{d}{2}; \quad f_1 = \frac{0.89}{1.3} = 0.68 \doteq 0.7 \text{ dyny.}$$



Obr. 15.

Aby bylo lze tuto co do řádové hodnoty malou sílu přirovnati k síle magnetické, podobným tahem vzniklé, vykonal jsem pokus v homog. poli magnetickém železnými kyvadélky.

Homogenní pole bylo zřízeno opačnými póly tyčovitých magnetů v poloze vodorovné. Spojnice středů železných kuliček byla rovnoběžna se silokřivkami. Hmota každého kyvadélka $m = 0.5 \text{ gr}$, délka $l = 25 \text{ cm}$; vzájemný největší doskok $d = 0.4 \text{ cm}$.

Doskoku bylo dosaženo tím způsobem, že se oba póly magnetů ke kyvadlům přibližovaly, až vznikla na železných kuličkách magnetickou indukcí dostatečná síla, že se přitáhly.

Podobným přepočtem jako v předešlém akustickém případě obdržíme práci pole magnetického, potřebnou na zvednutí kuličky :

$$L' = 0.4 \text{ ergu.}$$

Koná-li tělísko směrem silokřivek dráhu $\frac{d}{2} = 0.2 \text{ cm}$, lze vypočísti sílu tím směrem tělísko tlačící :

$$f' = \frac{0.4}{0.2} = 2 \text{ dyny;}$$

takže jest poměr sil na upotřebená tělíska působících v obou polích :

$$f' : f_1 \doteq 2 : 0.7 \doteq 3 : 1.$$

Tím se mi vysvětlily obtíže, chtěl-li jsem užítí v akustickém poli kyvadélek železných.

β) Jiného druhu pokusy na srovnávání intenzit dvou osových polí podnikl jsem na základě vzájemného v sebe působení akust. polí, stojí-li podélné osy reson. trubic na sobě kolmo (obr. 6. a obr. 7.) a poznatku, že jest plamen svíčky z pole vypuzován.

Potřebný k tomu přístroj skládá se z dvou reson. trubic s kolmými navzájem osami v rovině vodorovné; na průsečíku os, které jsou zřejmě centimetrovými měřítky vyznačeny, stojí plamen svíčky a čtvrt, kam bude odpuzovaný plamen mířiti, jest opatřena úhlovým kvadrantem. Uhel se měří od osy hlavní reson. trubky po směr plamene; neboť jest plamen z pole puzen směrem osy, působí-li pouze reson. trubice hlavní.

Je-li intenzita pudící síly trubice hlavní (obr. 16.) S , trubice vedlejší S_1 a příslušná odchylka plamene α , platí vztah

$$S_1 = S \operatorname{tg} \alpha.$$

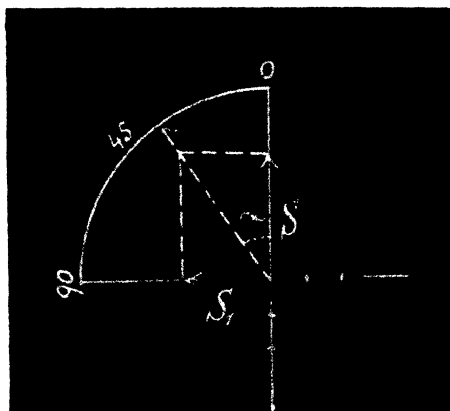
Chceme-li užítí tohoto vztahu na zkoumání, dle kterého zákona je chvějná intenzita pole závisla na vzdálenosti, kladme vedlejší reson. trubici do různých odlehlostí od plamene, až se odchylka vyrovná úhlu 45° ; pak $\operatorname{tg} \alpha = 1$, a intenzity obou osových polí na místě, kde svíčka se nalézá, jsou stejny. Od-

lehlost otvoru vedlejší trubice mějme pak za jednotku mtry dalších vzdáleností.

Pak bude vzdálenosti vedlejší trubice $r_1 = 1$ patřiti intenzita $S_1 = S$ a vzdálenosti téže trubice $r_2 = 2$ náležeti intenzita S_2 .

Bude-li (pro $r_1 : r_2 = 1 : 2$) $\frac{S_2}{S_1} = \frac{1}{4}$, bude $\alpha = 14^{\circ}3'$.

Bude-li (pro $r_1 : r_2 = 1 : 2$) $\frac{S_2}{S_1} = \frac{1}{2}$, bude $\alpha = 26^{\circ}34'$.



Obr. 16.

Experimentální zkouška potvrdila případ první a to dvojným způsobem :

1. Hlavní i vedlejší reson. trubice byly otevřené. Otvor hlavní trubice byl od osy svíčky vzdálen 1 cm , otvor vedlejší trubice 0.8 cm , když plamen ukazoval odchylku 45° . V tom případě $S_1 = S$.

Posunul-li se otvor vedlejší trubice do dvojnásobné dálky, t. j. do 1.6 cm od svíčky, ukázal plamen na 14° .

Tedy pro poměr vzdáleností téže trubice od svíčky

$$r_2 : r_1 = 2 : 1$$

byl poměr příslušných akustických sil :

$$S_2 : S_1 = 1 : 4.$$

2. Hlavní trubice byla otevřená. vedlejší krytá. do níž se vešla polovina vlny stojaté.

Ponechala-li se hlavní trubice v předešlé vzdálenosti, bylo třeba otvor vedlejší trubice pošinoucí do vzdálenosti 1·5 *cm* od svíčky, aby plamen ukázal na 45°.

Byl-li otvor vedlejší trubice ve dvojnásobné vzdálenosti, t. j. 3 *cm* od svíčky, mířil plamen opět na 14°.

I tento pokus dotvrdil, že *intensity akustického osového pole ubývá s rostoucí délkou čtverečně.*

γ) Při předešlých dvou vykonaných měřeních vyšlo na jevo, že jest akustické pole před trubicí krytou silnější než před otevřenou, mají-li stejný průměr světlosti.

Podrobným měřením, když byla hlavní otevřená trubice od plamene stejně daleko jako vedlejší krytá (1 *cm*), obdržela se odchylka plamene $\alpha = 70^\circ$, takže jest

$$S' = S \operatorname{tg} 70^\circ, \text{ a pro } S = 1 \\ S' \doteq 2\frac{3}{4},$$

t. j. zvuková vlna unikající z kryté reson. trubice, jejíž délka činí čtvrtinu vlny postupující, jest 2 $\frac{3}{4}$ krát mocnější té, která se současně šíří z hlavní trubice otevřené o též průměru světlosti.

Maje nyní dosti citlivý přístroj na srovnávání intensity vlny zvukové ve vedlejší reson. trubicí s intensitou, již má vlna dané trubice hlavní, zodpověděl jsem ještě některé otázky a došel jsem k těmto výsledkům :

1. Stojaté vlny v krytých reson. trubicích (s užší světlostí, než měla trubice hlavní), jejichž délky po sobě byly $l = \frac{\lambda}{4}$, $l_2 = \frac{3\lambda}{4}$, $l_3 = \frac{5\lambda}{4}$, způsobily odchylku plamene příslušně $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 20^\circ$, $\alpha_3 = 15^\circ$ při vzdálenosti 1 *cm* od plamene, takže jejich intensity činily :

$$S_1 = 0\cdot577 S, S_2 = 0\cdot364 S, S_3 = 0\cdot268 S.$$

Intensita pole, tedy též stojatého vlnění sloupce vzduchového, slábně s rostoucí délkou reson. trubice.

2. Dutina trubice kryté, jejíž délka byla 3 *cm* a průměr světlosti 14 *mm*, chvěla plně s hlavní trubicí. Vzdálenosti jejich od plamene měřily po 1 *cm*. Odchylka plamene $\alpha = 45^\circ$, t. j. intensity chvění obou se rovnaly.

Když se dutina prodlužovala nebo zkracovala, vznikaly odchylky plamene tím menší, čím byly dutiny rozladěnější.

Tento pokus dává návod, jak jest sloupec vzduchu zkrátiti, aby intenzita chvění byla nejmocnější, neboli aby nejúplněji spolu chvěl.

Jest to nový způsob ladění krytých trubic dle trubice hlavní.

3. Předešlý výsledek se hodí v tom případě, chceme-li stvrditi zákon o ubývání chvějné intenzity se čtvercem vzdálenosti.

Tak třeba pro vzdálenost 1 *cm* od plamene naladíme reson. dutinu, aby odchylka plamene činila $\alpha = 45^\circ$. Dalším posunutím vedlejší trubice s 2 *cm* se zákon hned stvrdí ($\alpha \doteq 14^\circ$).

δ) Působení prstenců železných v magnetickém poli lze napodobiti prstenci těles tuhých v poli akustickém. I jimi se intenzita akust. pole seslabuje.

Užil jsem silného pole mezi dvěma širokými reson. trubici, z nichž byla vedlejší krytá (obr. 17.), a mosazného prstence, jehož průměr vnitřní dutiny měřil 3·3 *cm*. Kuličky kyvadélek, které měly povrchy asi $\frac{1}{2}$ *cm* od sebe vzdálené, visely až skoro k podložené tabulce.

Působilo-li pole na ně plně, byly s úsilím k sobě přitaženy; když byl však pod ně vsunut prsteneček, bylo lze pozorovati na kyvadélkách velmi seslabený účinek pole.

Jeví se tedy uvnitř prstence mosazného podobně *akustický stín*, jako uvnitř prstence železného stín magnetický.

c) Upotřebením složitějšího pole na zkoumání diaakustičnosti a paraakustičnosti některých hmot.

α) Diaakustičnost plamenů a kouře.

Pokusy byly konány v silném rozpojitém poli mezi širokými trubicemi (obr. 17.) s použitím vlastností diaakustických hmot vůbec (že jsou z pole tlačeny) a plamenů zvláště (že se napříč k ose podélné rozšiřují (viz *C. a*) α) 4.) a zkracují.

Zkoušeny byly a těmito podmínkám vyhověly plameny: svíčky, plynový; pak kouř: ze svíčky, z doutnajících hubky unikající, teplý, i kouř z hubky ochlazený, kdežto Dvořákovy pokusy ukázaly⁷⁾, že se studený kouř chová netečně.

⁷⁾ Zeitschrift f. d. physik. und chem. Unterricht. 1893 str. 186.

Buďtež zde uvedeny podrobnosti k poslednímu pokusu: Resonanční trubky jsou upevněny na stojanech.

Kouře z hubky vpravíme do dvojhrdlé láhve, která má jedno hrdlo opatřeno nálevkou a druhé svislou zúženou trubičkou. Do nálevky vtéká voda z Mariotte-ovy láhve a vytlačuje kouř.

Je-li kouřový paprsek mezi otvory reson. trubic. ve vzdálenosti asi 2 cm od sebe osově postavených, zkrátí a zploští se vždy, kdykoli zdroj zvuku slabě zazní.



Obr. 17.

Zazní-li silněji, štěpí se kouř na dvě větve⁸⁾ nebo se zcela zarazí jeho odtok z láhve.

I studený kouř je třeba dle toho řaditi k hmotám diaakustickým.

β) Paraakustičnost kapalin. — Na zkoumání kapalin jsem užil silného, rozpojitého pole mezi otevřenou trubicí hlavní a krytou vedlejší se zkrříženými osami (III. část obr. 6.).

Další úprava byla následující: Lněnou, nit jsem zavěsil na stojánek tak dlouhou, že spodní její konec dosahoval k osám reson. trubek.

⁸⁾ Srov. »Muller-Puillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie (Leop. Pfaundler) III. Bd. 1890, str. 992: Diamagnetismus vom Flammen und Gasen«.

Působí-li oboje pole, je nit oběma trubicemi pouze slabě přitahována směrem silokřivek rozpojitého pole

Namočme nit do některé kapaliny a přidávejme na ni po kapkách téže kapaliny, až se na konci kapka udrží. Zazní-li pak zdroj zvuku, vtáhne se kyvadélko s kapkou dosti prudce do pole.

Pokusy byly vykonány: vodou, vápennou vodou, benzínem etherem ethylnatým, lihem obecným, kapalným čpavkem, glycerinem, phenolphtaleinem, olivovým olejem, kyselinou dusičnou a roztokem octanu olovnatého, a dosaženo téhož výsledku.

D. *Vzájemné akustickodynamické působení resonančních trubic a blan.*

a) Přitažlivost a odpudivost reson. trubic.

V odstavci A. této III. části bylo pojednáno o vzájemném působení dvou osových akust. polí a dosaženo poznatku, že spojitost výsledního pole jest provázena vzájemnou přitažlivostí, rozpojitost pak vzájemnou odpudivostí základních, skládajících se polí, nehledě na polohu reson. trubic.

Učiníme-li zdroje těchto polí otáčivými ve vodorovné rovině, zavěsíce je na hedvábná vlákna, objeví se vzájemná přitažlivost aneb odpudivost polí dosti silnou, že se i trubice přitáhnou neb odpudí, ať mají jakoukoli k sobě polohu.

Vzhledem k důsledkům (2. a 3) v odst. A této III. části platí tedy věty: *V souhlasných fasích stojatě kmitající sloupce vzduchové se přitahují, v protivných fasích chvějící se odpuzují.*

Dosavadní toho druhu pokusy se děly vedlejšími trubicemi otevřenými, jejichž délka se pácila na polovinu vlny postupující λ , a trubicemi krytými, do nichž se vešla polovina vlny stojaté.

Jaký vliv na přitažlivost, po případě odpudivost, má prodloužení vedlejší reson. trubice, ukázaly následující pokusy.

Úprava pokusů záležela v tom, že byla hlavní reson. trubice nehybna a vedlejší trubice byly pohyblivy; měly tvar vodorovných kyvadel, zavěšených na kokonovém vlákně.

Poněvadž jest vzájemné působivá síla slabá, konaly se pokusy tak, že se uvedly trubice do volného pohybu kolem otvoru reson. trubice hlavní, a hledělo se vyluzováním tónu

vzdalující se trubici přitáhnouti, po případě blížící se odpuditi nebo aspoň v obou případech zastaviti.

Zřízeny byly dvě skupiny pohyblivých trubíc, jednostranně kryté a otevřené; odměřena byla jejich délka, stanoven druh složeného pole a žádoucí zjev:

1. skupina: *Délka dutiny; druh pole; zjev*

$$\frac{1}{4}\lambda = 3.3 \text{ cm} \dots \text{rozpojité} \dots \text{odpuzení.}$$

$$\frac{3}{4}\lambda = 9.9 \text{ cm} \dots \text{spojité} \dots \text{přitažení.}$$

$$\frac{5}{4}\lambda = 16.5 \text{ cm} \dots \text{rozpojité} \dots \text{odpuzení.}$$

2. skupina: *Délka dutiny; druh pole; zjev.*

$$\frac{2}{4}\lambda = 6.6 \text{ cm} \dots \text{spojité} \dots \text{přitažení.}$$

$$\frac{4}{4}\lambda = 13.2 \text{ cm} \dots \text{rozpojité} \dots \text{odpuzení.}$$

$$\frac{6}{4}\lambda = 19.8 \text{ cm} \dots \text{spojité} \dots \text{přitažení.}$$

Na prachových obrazcích mezi trubící hlavní a vedlejšími lze pozorovati střídavě složená pole rozpojitá a spojitá. Unikají tedy i z vedlejších trubíc protilehlých prstence, jejichž otáčivý smysl kolem jejich mechanické osy jest buďto kladný nebo záporný.

Srovnáme-li zjevy dle jakosti a délky dutin pohyblivých trubíc, dělice od sebe kryté a otevřené, poznáme, že s postupným prodlužováním jich o $\frac{1}{2}\lambda$ mění se rozpojitost ve spojitost, odpuzení v přitažení a naopak.

O obou druhích trubíc krytých aneb otevřených platí zároveň: Zvětšíme-li délku reson. trubíc o lichý počet $\frac{1}{2}\lambda$, změní se úkaz v opačný, t. j. přejde odpuzení v přitažení anebo naopak; prodloužíme-li však trubice o suchý počet $\frac{1}{2}\lambda$, úkaz se nezmění.

Poněvadž změnou délky reson. trubice o $\frac{1}{2}\lambda$ nastane přechod spojitosti pole v rozpojitost aneb naopak, možno říci: Se změnou délky reson. vedlejší trubice o $\frac{1}{2}\lambda$ se mění pohyb nového pole v opačný.

Hledíce na poznatek, že mají osová pole proti téže rozkmitně (kde jsou fáse kmitajících částic stěny stejné) otáčivé pohyby souhlasné a proti sousedním rozkmitnám (s opačnými fasemi) nesouhlasné, přicházíme k novému poznatku, že se změnou délky trubice vedlejší o $\frac{1}{2}\lambda$ se mění fáse koncových sloupců v opačné.

Rozšíříme-li ony dvě skupiny vedlejších trubic krytých a otevřených na celé řady, možno říci:

Odpuzovány budou *kryté* dutiny o délkách: $\frac{1}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots (4n + 3)/4\lambda$; přitahovány s délkami: $\frac{3}{4}\lambda, \frac{7}{4}\lambda \dots (4n + 3)/4\lambda$.

U *otevřených* vedlejších pohyblivých trubic objeví se přitažlivost při délkách: $\frac{2}{4}\lambda, \frac{6}{4}\lambda \dots (4n + 2)/4\lambda$,
odpudivost při délkách: $\frac{4}{4}\lambda, \frac{8}{4}\lambda \dots (4n + 4)/4\lambda$.

Dle počtu uzlů nastane ve skupině trubic *krytých*
odpuzení dle poměru: $1 : 3 : 5 \dots : (2n + 1)$,
přitažení dle poměru: $2 : 4 : 6 \dots : n$;

ve skupině trubic *otevřených* obdržíme

přitažení dle poměru: $1 : 3 : 5 \dots : (2n + 1)$,
odpuzení dle poměru: $2 : 4 : 6 \dots : 2n$.

b) Přitažlivost a odpudivost kmitajících blan. — Pustíme-li do vody kapku těžší kapaliny (kyseliny sírové nebo roztoku nějaké soli), utvoří se z ní i z části vody okolní prstenec. Podobně, vrhneme-li kruhovým otvorem trochu kouře do vzduchu, vznikne též prstenec.

I kmitající sloupce vzduchové i kmitající blány vrhají vrstvy vzduchu do okolí, a jsou zdroji (jak pokusy ukázaly) celé řady vírných kroužků, jež mohou akustickodynamicky v sebe působiti.

Praví-li Stroh⁹⁾: „Dr Bjerknæs ukázal, že jest nutno, aby se dvě blány přitahovaly, by kmitaly v téže fazi; on též zároveň ukázal, že blány, které kmitají v protivných fázích, se odpuzují“, jest to důkazem, že vzájemné působení blan v prostředí kapalném je v dokonalé shodě s mými pokusy o přitažlivosti a odpudivosti stojatě kmitajících sloupců vzduchových (srov. III. část, D. a).

Stroh sám stvrdil též zákon o přitažlivosti a odpudivosti kmitajících blan ve vzduchu¹⁰⁾ a dokládá, že na vzájemné poloze kmitajících blan nezáleží.

Proč tomu tak jest, vysvětlují moje pokusy o složených polích spojitých a rozpojitých (viz III. části obrazce: 1., 2., 4., 5., 6., 7.) s poznatkem, že se za blanami též vytvářejí soustavy prstencové (II. část A. 2.).

⁹⁾ J. E. H. Gordon, A physical treatise on el. and magn. 1891, II. díl, str. 48. — ¹⁰⁾ Tamtéž str. 44.