

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

František Kolářek

Stručný náčrtek nynějšího stavu theoretické optiky se zřetelem k pracem vlastním v tomto oboru

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 18 (1889), No. 6, 273--289

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/109373>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1889

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>

Stručný náčrtek nynějšího stavu theoretické optiky se zřetelem k pracem vlastním v tomto oboru.*)

Píše Dr. Fr. Kolářek, professor v Brně.

Jak známo, dokázal před 23 roky J. Clerk Maxwell důmyslně pojav zjevy elektrické, a to cestou theoretickou, že se elektrické a magnetické impulsy podobně jako světlo v transversálních vlnách rozšiřovati musí.***) Pro volný éther (vzduchoprázdný prostor) činí rychlost postupu tolik co číslo Weberovo „ v “, jímž označen jest poměr mezi elektromagnetickou a elektrostatickou jednotkou hmoty elektrické. Že poměr ten má rozměry rychlosti, jde přímo z definice obou těchto jednotek. Hodnota čísla „ v “ jest téměř identickou s rychlostí světla.***) Jest protož na bíledni, že světlo za zjev druhu elektrického považovati lze. Pro jiné látky o dielektrické konstantě K činí rychlost postupu $v : \sqrt{K}$, protož se má dle Maxwella konstanta K rovnati zdvojnásobenému indexu lomu (pro vlny nekonečně dlouhé). Tomuto požadavku theorie některé hmoty vyhovují, jiné mu křiklavým způsobem odporují; na př. sklo, pro něž $K = 2 \dots 7$, a voda, pro niž dle Cohna $K = 80$, kdežto čtverec indexu lo-

*) F. Kolářek: 1. „Versuch einer Dispersionserklärung vom Standpunkte der elektromagnetischen Lichttheorie“ (Wiedemann's Ann. der Physik und Chemie, 1887, p. 224.—225., sv. 32.). 2. „Nachtrag zur Abhandlung „Versuch etc.“ (Wied. Ann., 1887, p. 429.—439., sv. 32.). 3. „Beiträge zur elektromagn. Lichttheorie“ (Wied. Ann., 1888, p. 673.—711., sv. 34.).

**) J. Clerk Maxwell „A Treatise on Electr. and Magn.“, 1873, Vol. II., p. 383., dříve ve Philos. Trans. for 1865, krátký nástin theorie viz: Seydler, theor. fys., II., p. 412.

***) „ v “ jest n. př. dle novějších velmi zevrubných měření Himstedtových $3 \cdot 0075 \times 10^{10} \frac{cm}{sec}$, kdežto průměr rychlosti světelné dle měření Newcomba, Michelsona, Cornuho Younga a Forbesa dává $3 \cdot 002 \times 10^{10} \frac{cm}{sec}$.

mového čísla 3 nedosahuje. Pro látky vodivé našel Maxwell jistou relaci mezi vodivostí a absorpcí, již zkušenost opět na prostu odmítá.

Pomocí předpokladu, ostatně Boltzmannem na síře experimentem verifikovaným, že v dvojlomném izolatoru K na směr závisí, se Maxwellovi sice podařilo, vysvětliti dvojlom, za to není možno, jeho theorii ani rozptyl (dispersi) barev, ani dispersi optických os, ani dvojlom cirkulární vysvětliti. Uvážíme-li všechny tyto důvody pro a contra, shledáme, že nejsilnější argument, t. j. zjištěná identičnost čísla „ v “ s rychlostí světelnou, zajisté nahodilým úkazem býti nemůže, že tudíž Maxwellovu theorii smíme sice považovati za neúplnou, ale nikterak za bezpodstatnou, a protož podnikl jsem v pracích dole uvedených doplniti Maxwellovu theorii ze stanoviska, na něž četní pozdější zpracovatelé elektrom. theorie světla (Helmholtz, Lorentz v Leydách, Glazebrooke etc.) váhu nekladli. Prvý požadavek, jemuž dle mého soudu každá theorie světla vyhověti musí, jest vysvětlení disperse, normálné i anomálné, a důležité této otázce věnovány jsou prvé dvě z prací uvedených; třetí jedná o dvojlomu, dispersi os, dichroismu a problemu reflexu a lomu. V čtvrté práci, dosud nepublikované, obsažena bude theorie cirkulárního dvojlomu.

A. Maxwell*) má za to, že elektrostatická energie nabitých vodičů nesídlí na jich povrchu, nýbrž v izolatoru, mezi nimi obsaženém. Představuje si totiž, že vlivem elektrických sil v dielektriku nastává jistá změna,**) obdařená směrem, jakés nahnutí či posunutí (displacement), jež sahá až po povrchy vodičů, a tam reakcí media proti tomuto vynucenému stavu vzbuzuje ponderomotorické síly, podle nichž dle starší hypotезy existenci elektr. náboje usuzujeme. Časovým změnám tohoto posunutí, těmto dielektrickým proudům, připisuje Maxwell účinky magnetické, a protož i v souhlasu s principem energie účinky indukčné elektromotorické.***) Bližší formulování zde proneseného názoru

*) Stran názorů Maxwellových viz výborné výklady v Seydlerově fysice II.

***) Novější experimenty o elektrostrickci, znění kondensatorů, dvojlomu následkem sil elektrických nedovolují pochybovati o reálnosti elektrického displacementu, ať již jakkoliv myšleného.

***) Indukční vliv dielektrik objevil as před rokem prof. H. Hertz v Karls-

vede okamžitě k fundamentálnímu principu elektromagnetické theorie světla, k rozšiřování se elektr. a magn. impulsů ve vlnách transversálních.

Neúplnost theorie jest u Maxwella rovněž jak u zakladatele optiky Fresnela téhož původu. Oba předpokládají optické medium ve smyslu mathematickém úplně stejnorodým, souvislým, čímž a priori vyloučena jest možnost, vysvětliti dispersi. Přihlédněme k tomu blíže. Ze stanoviska starší theorie přichází tato rozpojitost media v kalkulu k platnosti předpokladem, že distance étherových molekul proti délce vlny nemizí. Tuto myšlenku tuším již Fresnelem pronesenou, exaktně provedl Cauchy v slavném memoiru „Sur la dispersion de la lumière“, jenž vyšel v aktech král. uč. spol. v Praze. Theorie vrcholí v známém vzorci pro závislost indexu lomu a délky vlny optické, jest však vzdor tomu, že pro mnohé látky dosti správné výsledky podává, přece jen chybnou, a to hlavně proto, že požaduje za všech okolností větší index lomu pro světlo fialové než pro červené, kdežto Leroux na jodových párách, Christiansen (1870) na fuchsinu, Kundt na jiných látkách opačný, anomální rozptyl pozorovali. Mimo to následuje z Kundtových pokusů (1871) jistá nezvratná souvislost mezi absorpcí a dispersí, již každá theorie vyhověti musí. Pravou cestu ukázal theoretickému badání teprva Sellmeier (1872). Optické medium musíme si představití složené ze souvislého étheru a molekul, jež *vniternými silami pružnosti samostatných chvějí schopny jsou*, chceme-li pochopiti *elektivnou absorpci* a s ní souvisící dispersi. Helmholtz zjednodušil vývody Sellmeierovy a zavedl do počtu jakýs odpor proti pohybu molekul, nímž se vysvětliti má *přechod světelné energie v tepelnou*.

Lommel zvlšeobecnil Helmholtzovu theorii tím, že učinil odpor ten závislým na směru. Dospěl takto k theorii dvojlomu a rotační polarisace, nelze však theorii jeho ani v základech ani mnohdy ve výsledcích za příliš šťastnou pokládati. Rovněž

ruhe. Týž dokázal něco později nad míru důmyslnými experimenty, že se elektrodynamické vlny šíří ve vzduchu skutečně s rychlostí světla. Povedlo se mu vyvoditi stojaté vlny elektrodynamické, a změřiti přímo délku jich vln. Práce ty jsou publikovány v zprávách Berlínské akademie a otištěny ve Wied. Ann. z roku 1888.

jako Lommel, zpracoval též Ketteler*) ze stanoviska Sellmeierova celý obor theor. optiky. Vývody jeho formulovány jsou pomocí jakéhos surrogatu pro mechanický princip Hamiltonův. Exaktněji dají se, jak jsem v II. z uvedených článků naznačil, hypotезy jeho formulovati přímou aplikací Lagrange-ových vzorců dynamických. Předpokládejme, že kinetická energie optického media v určitém objemu vyjádřiti se dá jakožto kvadratická funkce rychlostí částic étherových a určitých rychlostí všeobecných v smyslu Lagrange-ově, časovými to derivacemi parametrů, nimiž parciální kmitý molekul úpr^o charakterisovati se dají. Takovými parametry jsou na př. amplitudý jednotlivých partiálních kmitů molekulových, jichž geometrické vlastnosti ani znáti nemusíme. Vzorec pro kinetickou energii jest následkem toho složen z tří částí, z nichž jedna pouz kmitům étheru, druhá pouze kmitům molekul, třetí však koexistenci obou odpovídá. Předpokládejme dále, že potenciálná energie optického media skládá se pouze z částí dvou, z nichž jedna deformaci étheru, druhá úchylkám molekul odpovídá, a předpokládejme, že poslední část jest kvadratickou funkcí těchto úchylek, neb lépe řečeno všeobecných koordinat Lagrange-ových. Dospějeme takto k theorii disperse a dvojlomu, jež s Kettelerovými vzorci aspoň pro průhledná media souhlasí.

Fundamentálním principem Kettelerovy theorie**) jest, jak zde v krátkosti po analyse prací Kettelerových uvádím, že *existuje člen kinetické theorie, na současnosti pohybu étherových a molekulových založený, žádný pak člen potenciální energie druhu podobného.*

Totéž platí o vzájemném účinku hmot pevných neb pružných, obsažených v tekutinách, a zde na sebe účinkujících. Tím, že existuje člen tohoto druhu závislý na pohybu tekutiny a hmot, stává se vespolný jich účinek, zdánlivé působení jich na sebe

*) Jeho práce vyšly pohromadě v samostatném díle „Theoretische Optik“

**) Podotýkám, že nemám úmyslu, reprodukovati zde ad verbum theorii Kettelerovu, kteráž mimochodem řečeno mnohých proměn ve vlastních jeho rukou doznala. Tak na př. nezná jeho theorie, co se molekul týče, všeobecného, Lagrange-ovými koordinatami vyjádřeného pohybu. Chtěl jsem pouze způsobem svrchu uvedeným exaktně mechanickým, základní myšlenku jeho theorie určitěji formulovati.

do dálky, možným, tím se vysvětlí snadno zákony o přechodu zvukových vln ze ztuhlých těles na vzduch a vice versa etc.

Můžeme protož Kettelerovou theorii dobře nazvati hydrodynamickou. Ketteler sám, zde pronesený princip vlastní theorie všeobecně neseznav, analogisuje svou theorii pouze se speciálním případem pohybu hydrodynamického, s Besselovou theorii kyvadla, ba nazývá princip ten dokonce principem Bessel-Sellmeierovým.

Tážeme-li se, jak si mysleti přechod optické energie v tepelnou, sledáme, že příčinu jeho *můžeme* hledati v jakémsi odporu proti pohybu molekul, avšak nemáme zde vodítka tak všeobecného, jakým nám při průhledných ústředích byl princip Hamiltonův. Paňuje zde zkrátka řečeno o formě, v kteréž se zmíněný přechod energií děje, úplná libovůle, jíž však, a to zde zřejmě podotýkám, elektromagnetická theorie prosta jest. Protož nemůžeme ve vzorcích Kettelerových, jež pro absorbující media sestavil, rovněž jako v oněch, jež se cirkulárné polarisace týkají, více spatřovati, nežli vzorce druhu empirického, tak volené, aby se docílil dobrý souhlas s daty experimentálními.

Co se problemu odrazu týče, tu Ketteler se přidržel modifikovaného principu Kirchhoffova, o němž později zmínka činěna bude. Podotýkám, že co do disperse a absorpce vzorce Kettelerovy výtečně se zkušeností se shodují, najmě s pozorovanými čísly Langleyovými o rozptylu v kamenné soli, a to v rozsahu mnoho oktav, rovněž, že jeho theorie dvojlomu s Fresnelovými zákony nesouhlasí na prasto, jeví se značné odchylky, o nichž experimentem rozhodnouti nelze.

Oproti theorii uvedeným založil W. Voigt*) novou, která, pomfjejc principem Sellmeierovým, *dispersi anomálnou na prasto vysvětliti s to není*. Voigt stojí na stanovisku dvou se pronikajících ústředí, étheru a molekul, jež na sebe účinkují silami, jichž nejobecnější tvar napřed vyšetřiti třeba. Proto dělí optická media na třídy dvě. V jedné z nich, třídě to těles průhledných, se energie zachovává, t. j. kinetický tvar její přechází v potenciální a naopak; v druhé mění se energie ve formu jinou, řekněme neoptickou, a myslíme při tom třeba na tepelnou. Při-

*) Voigtovy práce obsaženy jsou ve Wied. Ann., najmě v 19. sv. a 23. sv.

hledněme k případu prvému. Síly, jež pro přítomnost hmotných molekul k přirozeným silám krystalinického étheru (mezi nimi) přistupují, mají, hledíc na př. k elementární krychli, původ buď v rotaci a translaci, neb v deformaci této krychle. Voigt vyšetřuje všechny možné tvary těchto sil, jež se se zachováním energie srovnávají. Tím se stává theorie jeho arcit poněkud těžkopádnou, a proto se nejeví pro přílišnou její všeobecnost ani u dvojlomu souhlas se zjištěnými Fresnelovými zákony dvojlomu. Toho se docílí, odmítnou-li se síly spojené s translací a deformací, a podrží-li se síly od molekul pocházející jen ve formě druhé, tak že se nimi v konečném výsledku pouze konstanty přirozené pružnosti étheru intramolekulárního způsobem na délce vlny závislým modifikují. *)

Co se absorbujících medií týče, tu si počíná Voigt podobně. Vyhledává síly, kterýmiž optická energie se umenšovati může, jichž práce za jednotku časovou vykonaná dává zápornou veličinu, a nalezá opět síly zmíněných tří druhů, z nichž však pouze ony třetí kategorie podržuje. Zavedou-li se do vznikajících rovnic differ. integrály téže formy jako u látek průhledných s tím rozdílem, že se rychlost, amplitudy úchylek a směr postupu pokládají za veličiny komplexní (jež mimochodem řečeno nad míru jednoduše fysikálně interpretovati se dají), tu resultují tytéž vzorce pro dvojlom jako u těles průhledných. Vlna postupuje směrem jedním, a amplitudy její ubývá exponentialou dle směru druhého — toť význam komplexního směru postupu, kdežto komplexnost amplitud k změnám fáse, případně ku kmitům elliptickým vede.

Síly, jež cirkulární dvojlom (v křemenu na př.) budí, jsou ve všeobecném, pro síly nalezeném tvaru již obsaženy. O fysikálním podkladu těch sil se Voigt nevyjadřuje.

*) Budiž podotknuto, že exaktní theorie pružného anisotropického étheru vede též, jak Mac Cullagh a Kirchoff ukázali, k **ryzé transversálnosti** kmitů, a tím eo ipso k Fresnelovým zákonům dvojlomu, jež tento genialní badatel více uhodnul než dokázal, avšak *jen tehdy*, jestli kmitý étherové dějí se v rovině polarisační, a nikoliv kolmo na ni, jak Fresnel dokázati mnil. Rozumí se protož co do definice roviny polarisační souhlas Kirchoffovy theorie s Voigtovou. Ketteler stojí v této záležitosti na straně Fresnelově.

Obraťme se k problému reflexe, v němž o to jde, najíti amplitudy a fáse vln odražených a lomených.

Jak známo, razil si zde Fresnel cestu svými dosud platnými vzorci o amplitudách světla lomeného a odraženého. Fresnel vyvodil je z tří praemiss :

a) Rozličná optická media liší se od sebe pouze hustotou, nikoliv pružností étheru mezi molekulového.

b) Úchylka s rozhraním rovnoběžná nedozná příkré, nýbrž znenáhle změny, jdeme-li rozhraním z jednoho do druhého media.

c) Aktem odrazu a lomu se živá síla neztrácí. V této theorii zůstává nevysvětlitelno, proč kontinuita neplatí též pro složku k rozhraní kolmou. Znamenáme-li amplitudu dopadající vlny jedničkou, bude amplituda odraženého světla dána vzorcem $-\sin(\alpha - \beta) : \sin(\alpha + \beta)$, potažmo $-\operatorname{tg}(\alpha - \beta) : \operatorname{tg}(\alpha + \beta)$, kdež α úhel dopadu, β úhel odrazu znamená. Prvým případem se týká kmitů k dopadové rovině kolmých, druhým s ní rovnoběžných. Nazývá-li se světlo, jež po odrazu v polarisačním úhlu

$$[\alpha + \beta = 90, \operatorname{tg} \alpha = n \text{ (index lomu)}]$$

rozhraní opouští, v rovině dopadové polarisovaným, *tož kmitá dle Fresnela světlo k polarisační rovině kolmo*, a nastává při odrazu světla v řidším ústředí na rozhraní hustšího změna fáse o $\pm 180^\circ$. Zcela jinak u Neumanna, jenž předpokládá, že se éther v rozličných ústředích pružností, nikoliv hustotou liší a ostatně též princip živé síly a kontinuitu pararelní složky v počet uvádí. Předně jest tím kontinuita i kolmé složky ipso facto zachráněna; pro amplitudy vychází však vzorec $+\operatorname{tg}(\alpha - \beta)$, potažmo $+\sin(\alpha - \beta)$, dle toho, jsou-li kmity k dopadové rovině kolmo aneb s ní rovnoběžné. Odtud jde, že světlo kmitá v polarisační rovině, a že změna fáse o $\pm 180^\circ$ nastane, děje-li se odraz v *hustším* mediu.

Všechny pokusy, o těchto theoriích rozhodnouti byly vzdor veliké ceně, franc. akademií vypsané, marny. Z pozdějších zpracovatelů této theorie jmenujeme Cauchyho. Týž hleděl vysvětliti svými vzorci zvláštnosti odrazu na kovech, jakož i na látkách průhledných, děje-li se odraz poblíže t. z. úhlu polarisačního. Kdežto u látek průhledných dle vzorců Fresnelových světlo kolmo k rovině polarisované náhle fází svou změnití má o 180 stupňů, překročili se úhel polarisační, ježto $\alpha + \beta$ z Iho do IIho

kvadrantu přechází, ukazují experimenty Jaminovy, že přechod ten děje se znenáhla, a sice jest u jednoho druhu látek přechod fáse z 0 na 180° , u druhé třídy ze 180° na nullu. Jamin vlastně měřil rozdíl fází mezi světlem paralelně a kolmo polarisovaným, nelze tedy a priori říci, zda-li se snad také fáse paralelně polarisovaného světla nemění, tak že by se znenáhla Jaminem pozorovaná změna v rozdílu fází **oběma** druhům světla na vrub klásti mohla.

Novějšími pokusy Wernicke-ovými jest však zjištěno, že v souhlasu s teorií Fresnelovou i Neumannovou fáse světla *paralelně* polarisovaného se nikterak nemění, ať jest dopad jakýkoliv. Zvláštnost odrazu na látkách průhledných spočívá, protože oprotiv oběma teoriím, jak již uvedeno, v znenáhle, ač jinak dosti rychlé změně fáse o $\pm 180^\circ$ při překročení úhlu polarisačního u sice jen u světla kolmo k rovině polaris. U kovů není o úplné polarisaci poblíž úhlu kteréhokoliv ani řeči, při jistém úhlu, při kterémž se světlo kolmě polarisované, co nejslaběji odráží, ukáže se difference fází rovnou 90ti stupňům a roste. Vyjdeme-li od dopadu pod úhlem nullou, kde rozdíl fází nullou jest, jeví se stoupající zrůstání této veličiny až po hlavní úhel dopadový, kde se 90ti stupňům rovná, načež roste fáse ještě dále.

Cauchy (1839) hleděl, jak již řečeno, tento Jaminem podaný materiál vzorci svými v pořádek uvést, a povedlo se mu to, *pokud k výsledku* hledíme, velmi dobře. Praemisse, z nichž se Cauchy-ho vzorce vyvoditi dají — Cauchy udal vzorce bez důkazu, — jsou:

- a) vedle transversální vlny tvoří se též longitudinální,
- b) geometrická křivka, jež okamžitě odchylené částice spojuje, jdeme-li po paprsku k rozhraní a z něho do ústředí druhého, křivka to, jež nám okamžitý obraz vlny podává, není v rozhraní ani roztrhnuta, ani zlomena, t. j. netoliko úchyly nýbrž i jich defferenciální poměry dle kolmice dopadové přecházejí nepřetržitě z jednoho ústředí do druhého. Zavede-li se konečně předpoklad, že ty experimentu neznámé long. vlny buď s nekonečně velikou rychlostí postupují, neb v krátké vzdálenosti od rozhraní mizí, dojde se k zmíněným vzorcům Cauchyho. Pomocí jich a Jaminových experimentů dají se vypočísti koefi-

cienty absorpce a indexy lomů pro rozličné barvy a rozličné kovy. Teprva po šest a třiceti letech povedlo se Wernicke-ovi v Berlíně koeff. absorpce v stříbře přímo změřiti. Souhlas mezi theoretickými hodnotami a změřenými byl neočekávaně dobrý. Zůstávala však jedna obtíž. Index lomu pro stříbro má dle Cauchy-ho theorie býti as 0·27, tak že by mělo světlo v stříbře skoro čtyřikrát rychleji běžeti než vzduchu a podobně v mědi. Tento výsledek zdál se býti mnohým, pisatel těchto řádků sebe nevyjímá, — velmi málo pravdě podobným. Avšak když i theorie elektromagnetická k témuž výsledku vedla, hleděl jsem po přímém vysvětlení této anomalie. Doufám že výklad můj blíží se pravdě. Napíšeme-li si na abscisse x -ové počty kmitů světelných a existuje-li při jistém počtu kmitů silná, na jistý obor omezená absorpce, tu ukazují jak theorie, tak i pokusy Kundtovy o animální dispersi, že index lomu prudce stoupá, blížíme-li se po abscissově ose tomuto pruhu absorpčnímu, aby tím silněji klesl, překročíme-li jej. Představíme-li si protož, že světlo dlouhých vln nad míru silně v stříbře se absorbuje, pochopíme, proč v oboru viditelného spektra index pod 1 klesnouti může. Totéž platí o mědi. Že pro velmi dlouhé, tedy před tímto hypoth. absorpčním pruhem ležící vlny index lomu v mědi větším než jednička býti musí, tomu nasvědčuje Hertzem nalezená okolnost, že elektrodynamické vlny na centimetry a decimetry měřitelné v mědi s menší rychlostí postupují než ve vzduchu.

Bude věcí všeobecně známou, že se minulého roku Kundtovi povedlo, pomocí hranolů kovových, jež byly nad míru tenké a ostré, indexy lomu v mnohých kovech změřiti, tak že i v tomto ohledu vzorce Cauchyho po téměř 50ti letech plného stvrzení došly, čímž arcif řečeno není, že by fysikální podklad theorie správným býti musil.

Přidržíme-li se po této odchylce opět historického pořádku, musím se vrátiti k theoriím pružnosti étheru zbudovaným.

Z prací najmě Kirchoffových víme, že ze stanoviska ryze elasticko-mechanického odraz a lom světla vůbec vysvětliti se nedá.

Požadavky, které z tohoto stanoviska klásti se musí jsou: 1. Kontinuita úchylek vůbec, jejížto negace by k roztrhnutí étheru vedla a 2. Kontinuita oněch sil pružností, jež účinkují v ploše,

v níž se obě media stýkají, sil po anglické terminologii „shearing force“ zvaných a vyjádřených obvyklými písmenky $Z_x Z_y Z_z$, pakli rovina $z = 0$ společným rozhraním jest. Negace této kontinuity vedla by, přihlédneme-li k nízkému hranolu, jenž do obou ústředí sáhá, k zrychlení nekonečně velikému. *A těmto všem podmínkám současně vyhověti nelze.* Představme si však, že podobně jako v kapillaritě existují jisté, k jednotce plošné vztažené, od přítomnosti obecné hmoty pocházející síly X, Y, Z, jimž povrch media, v němž Z np. jest veličinou zápornou, podléhá.

Přísluší-li hornímu mediu střižné síly $Z'_x Z'_y Z'_z$, tož vyžadují principy mechanické, aby rovnice $X_z + X = X_z'$ etc. splněny byly. A tyto neznámé veličiny X Y Z dají se právě principem Kirchhoffovým eliminovati, jenž vyjádřen jest větou, že mechanická práce těchto sil od obecné hmoty pocházejících v průhledných tělesech energií optickou změnití nemůže, že tudíž jich mechanická práce

$$(X_z - X'_z) \frac{du}{dt} + (Y_z - Y'_z) \frac{dv}{dt} + (Z_z - Z'_z) \frac{dw}{dt}$$

nulle rovnati se musí.

Tento vzorec dohromady s třemi podmínkami, jež kontinuitu úchylek vyjadřují, vystačí k úplnému řešení problému, jde-li o odraz na látkách isotropických a anisotropických. Tytéž podmínky pomezní udal již bez důvodu Mac Cullagh. (Chci podotknouti, že za bližší zde obsažený výklad Kirchhoffovy theorie sám zodpovídám).

Jak již řečeno přijali Ketteler, (jehož theorie odrazu kusou jest, anť pro odraz na rozhraní *krystalených* látek vzorce Cornuho zavádí) jak i Voigt princip Kirchhoffův. Voigt rozšířil jej na absorbující media postulatem, že práce hořejších sil v tomto případě úplnou derivací času býti má. Zavedou-li se do této podmínky za odchylky uvw opět integrály téhož tvaru jako u látek průhledných, jen že s rychlostí a směrem postupu, rovněž i amplitudami soujennými, tož se dojde k těmže vzorcům, které Kirchhoff pro průhledná media vyvodil.

Najmě se najdou, jde-li o odraz na rozhraní dvou isotr. látek výrazy Fresnel-Neumannovy

$$\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)},$$

jen že Voigt-Kirchhoffova theorie stojí, jak již řečeno, co do definice polarisační roviny a změny fáze na stanovisku Neumannově. V těchto zlomech má úhel lomu β význam komplexní, není-li ústředí úplně průhledným; lze tedy po patřičné interpretaci soujenného β dojíti k vzorcům o odrazu na kovech, jež s vzorcí Cauchyho souhlasí.

Budiž podotknuto, že dávno již před Voigtem jiní, hlavně Mac Cullagh podobnou interpretací soujenného β při vzorcích Fresnelových k theorii odrazu na kovech dospěli; byl to arciv pouhý matematický pokus bez podkladu fyzikálního.

Považujeme-li, čímž vlastně jsou, i obecné látky průhledné za absorbenty, dají se vzorce o kovové reflexi přímo zde aplikovati. Postup, nímž se fáze poblíž polarisačního úhlu mění, dá se nimi velmi dobře reprodukovati, jen že koeficient absorpce odtud vypočtený jest na př. pro sklo příliš velikým, tak že bychom o správnosti celé theorie pochybovati musili, kdyby nám odjinud známo nebylo, jak veliký vliv na zjevy polarisační má prostředek, nímž se hlazení zrcadlicích ploch provádí.

Zdá se, že z fáze vypočtený koeficient absorpce, neprávem sklu přisuzovaný, tenké povrchové vrstvě náležeti bude.

Jiná nesnáž v tom spočívá, že dle výzkumu Jaminova zmíněná znenáhla změna fáze o 180° po překročení polarisačního úhlu a mnohých (negativních) látek zcela naopak se děje než na př. u skla. K vysvětlení tohoto zjevu schází, nechceme-li jej opět jak Voigt v povaze povrchové vrstvy hledati, všecken princip. Nemáme zde na výběr, jen absorbcí dovedeme vysvětliti zmíněný znenáhly přechod fasí, a ten jest vždy směru jednoho a téhož, jako u kovů a skla, nikdy opačného, jako u látek Jaminem zkoumaných.

Theorie odrazu na kovech souhlasí rovněž dobře s experimenty, jež Wiener o změně fáze při kolmém dopadu nalezl. Týž dal světlu se odrážeti v slídě na rozhraní vzduchu, a pak stříbrné vrstvy, ustavičně tlustší, a shledal, že *vlivem stříbra fase se proti vzduchu o 270° stupňů zpozdí*. Voigt vidí v tom neshodu s teorií vlastní. Dle této se při kolmém dopadu na stříbre světlo v slídě as o čtvrt doby kmitové zpozdí. Při odrazu o vzduch v slídě musí nastati dle Neumannovy theorie změna fase o $\pm 180^\circ$, však theorie nevypovídá, jestli se odrazem postup vln

o půl doby kmitové zpozdí neb zrychlí. Myslíme-li, jak Voigt, že se zpozdí, tož musilo vlivem stříbra nastati zrychlení o $\frac{1}{4}$ doby kmitové, anož zpozdění při odrazu na stříbre theoreticky pouze $\frac{1}{4}$ doby kmitové obnáší, máme-li však za to, že změna fáse při odraze o vzduch se zrychlí o půl doby, pak pochopíme, že vliv stříbra musil se rovnati zpozdění o $\frac{3}{4}$, anož zrychlení $\frac{1}{2}$ doby se proměnilo na zpozdění o $\frac{1}{4}$ d. Upozorňuji, že zrychlení o $\frac{1}{4}$ doby a zpozdění o $\frac{3}{4}$ jsou sice v ohledu foronmickém věci equivalentní, nikoliv však v pokusech Wienerových, kde se odraz stopoval od nejtenší až k nejlustší vrstvě stříbrné, kde se tedy skutečně zpozdění o $\frac{3}{4}$ d. nikoliv zrychlení o $\frac{1}{4}$ d. konstatovalo.

Fysikové národů neněmeckých věnovali, pokud vím, v poslední době málo pozornosti těmto studiím theoretickým. Jest zajímavo, že sám slavný W. Thomson*), jenž před 4 roky samostatně principem Sellmeierovým zjevy disperse vysvětliti se snažil, se vyznává, že o anomálné dispersi, slavném to objevu dánského badatele Christiansena, dříve nevěděl, až prý možnost její naň z vzorců theor. vyzírala. Ohlédneme-li se nyní po vývoji elektrom. theorie světla, shledáme, že četní její zpracovatelé se sice se zjevy odrazu a dvojlomu nikoliv však s vysvětlením disperse zabývali, tak že Ketteler ještě roku 1885 tuto theorii „dispersionslos u. absorptionslos“ nazvati mohl.**)

B. Naznačiv v hlavních rysech nynější stav optiky theor. obracím se k referátu o vlastních dříve uvedených prácech o elektm. th. světla. Jsa o veliké pravděpodobnosti Maxwellovy theorie přesvědčen, snažil jsem se již před 5 roky na ni aplikovati princip Sellmeierův. Vycházeje ze známých zkušeností o oscillačním výboji Leydenské láhve, byl jsem přiveden na myšlenku, že kdykoliv v libovolném vodiči, třebaš kouli izolované skrz influenci zevnější rozklad nastane, rovnovážný stav jen po

*) Sir William Thomson, Nature 31. 1885 referat prof. G. Forbesa.

**) Nedávno mne upozornil pan Willard Gibbs, professor univ. v New-Havenu (Connect. U. S.) na články o elektrom. th. světla, obsažené v „Americ Journal of science“ (1882, 1883, 1888), v nichž o dispersi dvojlomu circ. pol. pojednává. Vzorce o dispersi vedou však pouze k normální dispersi, t. j. k vzorci Cauchy-ho, a vysvětlení odrazu jest kusé.

oscillací dostaviti se může. Obávaje se, že by výklad disperse na molekul. oscillací elektrických založený, běžným a oprávněným náhledům o velikosti molekul odporovati mohl, jal jsem se vyšetřovati rozměry tělesa, jehož oscillace mají periodu téhož řádu jako kmity optické. Shledal jsem zde souhlas s rozměry, jež na př. plynou z theorie plynů. Nabyv takto půdy pevnější, jal jsem se rozvažovati o fundament. větě Maxwellově, která časovým změnám elektr. posunutí účinky magnetické připisuje. Za tím úmyslem vyšel jsem v prvním článku z rozličných možností v t. z. poli magnetickém. Toto jest buď prostě souvislé, t. j. integrální práce sil magnetických jest na kterékoliv uzavřené čáře nullou, a pak se dá potencial sil těchto vyjádřiti hmotami povrchnými neb prostornými, aneb jest pole to mnohonásob souvislé, t. j. existují čáry uzavřené, kol nichž se práce integrální od nully liší; v tomto případě existuje v určitých místech mag. pole stav, jehož kriteria souhlasí s existencí t. z. proudů galvanických. Nabíjí neb vybíjí-li se kondensator, tož existuje jak zkušenost učí, kol drátu, nímž výboj jde, jistotně pole magnetické mnohonásob souvislé, jehož souvislost dielektrikem kondensatoru přerušena býti nemůže, nemá-li toto pole degenerovati v pole prostě souvislé; musí protož souvislost ta existovati i v dialektriku t. j. musí v něm existovati čáry uzavřené, kol nichž práce od nully rozdílna jest, t. j. musí v nich existovati jistý časem proměnlivý děj, jenž působí jako proud galvanický.

Že Hertz později galvanicko-indukční vliv dielektrik pozoroval, bylo již řečeno. Další vývody týkají se kontinuity totalního proudu a rovnic elektrodynamických. Tyto obsahují jednu neurčitou konstantu, rychlost, s níž se elektrostatický potencial šíří; účinky elektrodynamické postupují s rychlostí světla. Mají-li býti elektrické kmity ryze příčnými, musí se elektrost. potencialu přičítati nekonečná rychlost postupu.

Následující odstavec jedná o elektrodynamických kmitech ve vodivé kouli uprostřed absolutného prázdna. Vyšetřeno, kterak kmity ty závisí na rozměrech, vodivosti a dielektrické konstantě koule, určena velikost koule, mají-li kmity ty míti periodu kmitů světelných, a konečně řešena úloha, najíti okamžitý stav v kouli, jestli v čase $t = 0$ udán byl. Pak následuje výklad, kterak libovolná funkce koordinat vyjádřiti se dá řadou, jejíž

členy souvisí s geometrickými vlastnostmi jednotlivých kmitů parciálních.

Odstavec poslední obsahuje vlastní theorii disperse. Předpokládá se, že optické medium jest směsí z kulovitých, vodičů a současně dielektrické polarisace schopných molekul, vložených do étheru isotropického. Dielektrické proudy, v étheru pramenem světla vzbuzené, indukují jiné v molekulách po způsobu resonance, tak že rozličné parciální kmity v rozličné síle vyztupují dle kmitové doby impulsu původního, a naopak přistupují zpátečnou indukci molekul na éther k silám éther v polarisovaný stav uvádějícím síly nové. Stotožníme-li to, co se v obecné theorii světla úchylkou nazývá, s displacementem étheru, dojdeme až na nepatrný rozdíl k zákonu disperse v téže formě, kterou vyvinul Ketteler, a jež pokusy foto- a spektrometrickými na látkách normálně i anormálně rozptylujících správnou shledána byla. Ostatně vývody článku jednají ještě o vlivu hustoty na lomivost; i zde souhlasí má theorie, jak ostatně Ketteler sám na několika místech uznává, s jeho teorií. Pro řídká media, na př. plyny, jde zákon, kterak souvisí lomivost plynů s velikostí molekul, proto též s prostřední dráhou ve smyslu kinetické theorie plynů; relace, již před delší dobou Stefan z empirických dat usoudil. Druhý článek obsahuje korekturu jistého (vedlejšího) omylu v článku prvním, pak vývod podmínek, jež na rozhraní dvou optických ústředí panovati musí. Tyto zní: Složka magnetické a elektromotorické síly s rozhraním rovnoběžná nepřechází příkře tímto rozhraním, nýbrž znenáhla.

Podmínky ty jsou základem pro theorii reflexe a lomu v třetím článku obsaženou.

Mimo to zde ukázáno (nač jsem ostatně již v prvním článku upozornil), že theorie disperse nezávisí na tvaru molekul. K tomu účeli vyjádřil jsem energii v molekulách, ať jednoduchých neb z atomů složených, všeobecnými Lagrange-ovými koordinatami. Výsledek jest co do disperse též jako v článku prvním.

Třetí článek jedná o theorii dvojlomu a reflexe. Na předním místě uvažováno o fundament. praemissi této theorie, dle které i v dobrých vodičích posunutí dielektrické vedle kondukčního proudu, Ohmovým zákonem se řídícího, existuje. Nebyloť té doby o tom exper. evidence, neboť metody, nimiž se

dosud dielektr. konstanta určovala, nehodily se na vodiče. Teprva později ukázal Cohn, že i vodičové, na př. voda, dielektr. polarisace schopny jsou.

Vývody, v mém článku uvedenými, jsem ukázal, že pro periodické kmity světelné diel. proudy proti kondukčním i tenkrát se zanedbati nesmí, kdy vodivost molekul vodivosti kovů, a dielektr. konstanta nejmenší možné hodnotě $= 1$ se rovná. Zákon Ohmův jsem zavedl do elektrod. rovnic ve formě nejobecnější, kdež proudy kondukční jsou lineárním úkonem sil elektromotorických, čímž podržena jistá dissymetrie členů, jež Hallovu fenomenu odpovídá, a pro vysvětlení cirk. dvojlomu nezbytnou se jeví. Dielektrické proudy jsou rovněž lineárními úkony sil elektromotorických, dle času derivovaných; podobná assymetrie jako u kondukčních jest zde však zákonem o zachování energie vyloučena. Celistvý proud, t. j. součet proudů diel. a kondukčního, dá se však principem Faraday-Maxwellovým vyjádřiti magnetickými silokřivkami. Identifikace obou výrazů vede k rovnicím elektrodynamickým. Tyto se jistými transformacemi dají uvésti na jiný tvar, kde obsahují obecné koord. Lagrange-ovy, jimiž v tomto případě jsou amplitudy jednotlivých parciálních kmitů, jichž molekula, neb jich skupiny v absolutném prázdnu schopny jsou. Diskussi těchto kmitů věnována velká část článku. Shledána věta, pro další výklady velmi prospěšná, že se tři libovolné funkce koordinat vyjádřiti dají třemi řadami, jichž členy s geometrickými charakteristikami kmitů parc. souvisí. Tři na sobě nezávislé složky impulsu étherového dají se vždy dle těchto řad rozložití, a působují v molekulách, jakož již dříve řečeno bylo, jakýms druhem resonance parciální kmitů indukované, jež reagují zpět na éther, v tomto článku za anisotropický považovaný. Mathematický výraz zde vyjádřených názorů vede k systému simultaných rovnic differenciálních, jež dlužno ještě integrovati. V tomto článku jsem se při integraci rovnic omezil na *symetrická* media krystalená, ponechávaje si výklad cirk. dvojlomu pro příležitost pozdější. Resultat integrace pro optická media průhledná jest: Definuje-li se periodický vektor světelný, o němž nic více nevíme, než že periodickým a příčným jest, výsledným posunutím dielektrickým, dojde se exaktně, nikoliv zblíženě, k Fresnelovým zákonům dvojlomu. Posunutí diel. jest

jak u Fresnela k polaris. rovině kolmo. Definujeme-li však vektor světelný jiným, rovněž transversálním vektorem, t. j. silou magnetickou, jež proudy diel. vždy doprovází, tož platí sice opět na vlas Fresnelovy zákony dvojlomu, s tím však rozdílem, že magn. síly nyní v polaris. rovině obsaženy jsou, stanovisko tedy theorie Neumann-Mac-Cullagh-Kirchhoffovy.

Ze stanoviska elastické theorie světla může býti a byl spor o to, zdali světelný vektor, jenž se zde jen výchylkou étherové částice definovati dá, na rovině polarisační kolmo stojí, neb v ní obsažen jest; elektromagn. theorie má na výběr, může jej buď diel. posunutím neb magn. silou definovati, **čimž je řečeno, že tato sporná otázka optiky v ní místa nemá.*)** Oba zjevy existují současně, oba jsou parametry energie světelné.

Theorie zde vyvinutá vydává svědectví o dispersi vůbec i o dispersi os, t. j. vysvětluje, proč poloha optických os na barvě záviseti může. Blíží diskussi samostatných elektr. chvějí molekul. jsem našel, že pro každou, ať jednoduchou neb složenou molekulu existuje, a to pro každý parciální kmit zvláště, jistá osa té vlastnosti, že impulsy étheru v equatoru té osy obsažené příslušný parc. kmit vzbuditi nemohou.

Pojem těchto os jest pro osovou dispersi v systému rhom-

*) Z článku, podaného Berlínské akademii 13. prosince 1888, jež jsem právě laskavostí prof. Hertze obdržel, seznávám, že i on tento náhled sdílí. Pravít (Berl. Ber., L pag. 1303): „Die Frage schlechthin, in welcher von beiden Ebenen in unserem Strahl die Schwingung erfolge, ohne Angabe, ob man nach der elektrischen oder magn. Schwingung frage, lässt eine Antwort nicht zu. Dass in dieser Überlegung auch die Resultatlosigkeit einer alten optischen Streitfrage begründet sei, ist wol zuerst klar von Hrn Koláček ausgesprochen worden.“ Tento článek jest pro výsledky v něm obsažené velmi pozoruhodný. Povedlo se totiž Hertzovi, vzbuditi *paprsek* účinků elektrodyn., jenž se pravidelně odráží, při čemž polarisace jeho, je-li v dopad. paprsku k rovině dopadové kolmou neb k ní rovnob., tyto vlastnosti po odrazu podržuje, jenž ohybu a interference schopen jest a v dielektriku (asfaltu) s indexem 1.69 se láme. (Optický index jest 1.5—1.6.) Dvě válcová zrcadla průřezu parabolického, jež v ohnisku vysílatele vln elektrodynamických, respektive jich přijimatele obsahují, chovají se úplně jako dva Nikoly, system paralelních drátů mezi nimi napnutých jako deska turmalinová etc. Vlny elektrodyn. mají zde délku jen několika *dm*.

bickém, mano- a triklinickém důležitý. Pro media absorbující najdou se zákony podobné, z nichž dichroism i polychroism plyne. Formálně jsou vzorce ty s Kirchhoff-Voigtovými identické, však disperse jest bezmála táž jak u Kettelera. Podmínky pro rozhraní dvou medií vyvinul jsem, jak již řečeno, v druhém článku. Prvá z nich je nutnou konsekvencí kontinuity totálního proudu, druhá souvisí podstatně s Faraday-Maxwellovým principem indukce. Po udání těchto podmínek nezbylo leč formulovati problem reflexe. Učinil jsem tak, přidržuje se elegantní metody Kirchhoffovy — princip jeho theorie dříve naznačený arcí byl zde nemístným.

Ježto řešení úlohy, kterak se láme a odráží síla magnetická, analyticky pohodlnějším jest, řešil jsem úlohu v smyslu tomtó. Vzorce pro amplitudu jsou na prosto identické s těmi, jež pan Drude před krátkým časem z Voigtovy theorie vyvinul. Konstanty jsou i zde na barvě závislé, avšak jiným způsobem než v theorii Voigtově, jež anomálnou dispersi vůbec nepřipouští. Kterak resultáty této, tudž i mé theorie se zkušeností souhlasí, bylo již svrchu sděleno. Že má theorie co do polarisační roviny i s Fresnelovou souhlasí, defínuje-li se vektor světelný posunutím díel., jest samozřejmé.

Nový druh elektrických obrazců.

Popisuje

B. Navrátil,

ředitel vyšších reálných škol v Prostějově.

(Dokončení.)

Kromě električky influenční a Wintrovy použito ku tvoření obrazců hlavně elektrické jiskry též ještě proudů indukovaných. Indukční jiskry buzeny přístrojem Ruhmkorffovým větších rozměrů pomocí 6 čl. Bunsenových Místo jedné nebo dvou jisker zobrazilo se jich nyní tolik, kolik jich během doby exposiční mezi elektrodami přeletělo; na obr. 5. asi 15. Rozdílly ve tvaru září okolo pólu pozitivního a negativního následkem velmi krátké doby exposiční a zakončení elektrod hroty zmizely; v celku však