

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Daniel Mayer

Nová metoda zviditelnění fyzikálních polí

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 23 (1978), No. 6, 318--322

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138536>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1978

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>

Nová metoda zviditelnění fyzikálních polí

Daniel Mayer, Plzeň

Vývoj a výzkum technických zařízení bývá spojen s vyšetřováním různých fyzikálních polí. Zpravidla je studujeme prostřednictvím matematických nebo fyzikálních modelů. Jedním ze způsobů fyzikálního modelování je jejich zviditelnění. Pro zviditelnění teplotních polí byly vyvinuty jednak metody infračerveného obrazu [1], jednak tzv. šlírové metody, jimiž se zviditelní gradienty indexu lomu prostředí – změna indexu lomu prostředí (např. kapaliny) je totiž v určitých mezích úměrná změně teploty tohoto prostředí [2]. Magnetická pole lze zviditelnit buď na základě stáčení polarizační roviny světla v magnetickém poli, jež je rovnoběžné s osou světelných paprsků (Faraday r. 1846), anebo vznikem dvojlomu světla v magnetickém poli, a to nejen v tuhých látkách, ale i v kapalinách a v roztocích s rozptýlenými koloidními částicemi; poměrně velký dvojlom světla vzniká i ve slabých magnetických polích např. v roztocích s koloidními částicemi magnetitu Fe_3O_4 (Majoranův jev, r. 1902). Pro zobrazení elektrického pole lze použít dvojlom světla při působení elektrického pole kolmo na směr polarizovaných světelných paprsků (Kerrův jev, r. 1875); dvojlom nastává již při slabých elektrických polích (řádově 10 V/mm), při použití vrstvy látky elektroopticky citlivé (např. vodného roztoku koloidních částiček bentonitu, Mueller, r. 1941). Jiný způsob zobrazení poměrně silných střídavých elektrických polí (přes 2 kv/mm) využívá elektroluminiscenci, založenou na světélkování některých látek (např. siřníku zinečnatého) v elektrickém poli (Losev r. 1923, Destrian r. 1938) [3].

Jsou ještě další možnosti zviditelnění fyzikálních polí, využívající metodu analogie a vlastnosti kapalných krystalů. Metoda analogie je jednou ze základních metod sloužících při řešení mnohých technických a fyzikálních problémů. Její podstata záleží v tom, že ke zkoumanému jevu vyhledáme analogický jev, který realizujeme na modelu (analogonu). Zkoumaný a analogický fyzikální jev jsou matematicky popsány týmiž vztahy – zpravidla parciálními diferenciálními rovnicemi s týmiž okrajovými a počátečními podmínkami. Říkáme, že mezi oběma jevy platí matematická podobnost (matematická analogie). Vyhledání analogického jevu nebývá obtížné – zpravidla jich snadno nalezneme hned několik. Vybereme z nich takový, pro který umíme snadno a s nepříliš velkými náklady zhotovit analogon a pro který máme vyvinutu dostatečně přesnou a pohodlnou měřicí techniku, již můžeme experimentálně vyšetřit fyzikální jev, analogický zkoumanému. Získané výsledky pak interpretujeme se zřetelem na modelovou podobnost, čímž nalezneme řešení původního zkoumaného jevu. O metodě analogie se podrobně pojednává např. v pracích [4] až [10].

Matematická podobnost různých fyzikálních jevů sehrála významnou roli při objevení zákonitostí v některých vědních disciplínách. Například při formulování zákonů elektromagnetického pole a elektrických obvodů se uplatnila analogie s hydrodynamikou (J. C. Maxwell, G. Kirchoff) a s termodynamikou (G. S. Ohm).

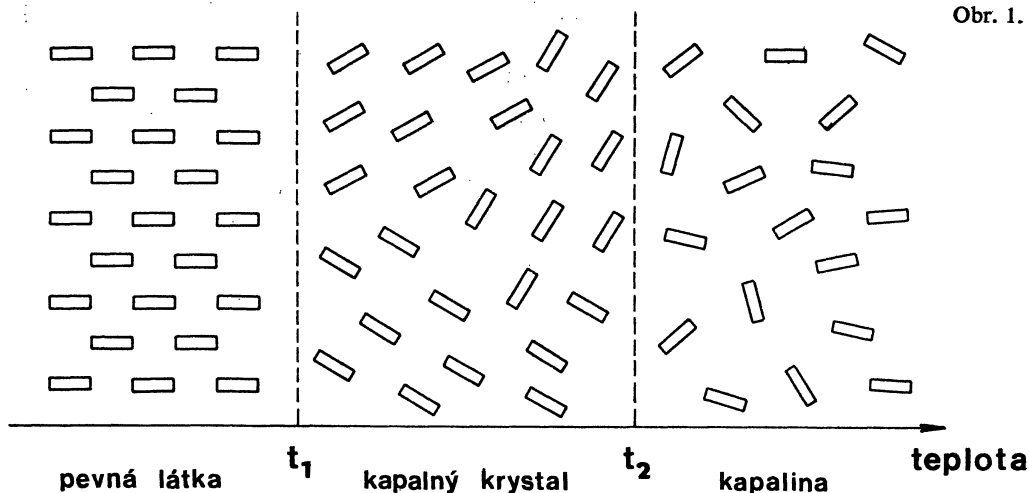
Metoda analogie je velmi rozšířená při řešení dvojrozměrných okrajových úloh, při nichž vyšetřujeme v daných oblastech a pro dané podmínky na hranicích těchto oblastí rozložení různých fyzikálních polí, především potenciálních, ale též i vírových (viz např. [8]). Jsou to například problémy teplotního pole, pole mechanické napjatosti, pole proudění nestlačitelné tekutiny, elektrostatické nebo magnetostatické pole aj. Potenciální pole jsou vesměs popsána Laplaceovou rovnicí $\nabla^2\varphi = 0$, kde φ je potenciální funkcí. Za analogické se zpravidla volí pole stacionárního elektrického proudu. Analogon dvojrozměrného pole snadno realizujeme buď spojitě rozloženým rovinným prostředím (tj. pomocí elektrolytické vany nebo polovodivých papírů), anebo mřížovou sítí se soustředěnými prvky, zpravidla odporovými. Na hranici zkoumané oblasti buď známe hodnoty potenciálu (tj. okrajovou podmínku I. druhu čili Dirichletovu), nebo hodnoty derivace potenciálu ve směru vnější normály (tj. okrajovou podmínku II. druhu čili Neumannovu), anebo na části hranice oblasti známe potenciál a na zbyvajících částech jeho derivaci (tzv. smíšenou okrajovou podmínku). Rozložení čar stejného elektrického potenciálu, tj. ekvipotenciál, na analogonu pak lze jednoduše a přesně změřit voltmetrem; na zkoumaném objektu jim odpovídají izotermy, ekvipotenciály rovinné napjatosti atd. Měření ekvipotenciál je sice dosti pracné, ale může být automatizováno.

Pro modelování dvojdimenzionálních potenciálních polí se dříve používaly membránové analogony, jež realizovaly pole rovinné napjatosti (L. Prandtl). Hodnotě potenciálu odpovídala svislá výchylka pružné membrány z vodorovné polohy a ekvipotenciálům průmět vrstevnic vzniklého prostorového útvaru [9].

I když praktický význam analogového řešení okrajových úloh je v poslední době zatlačován do pozadí účinnými numerickými metodami a výkonnými samočinnými číslicovými počítači, stále se v některých oborech používají, především proto, že tato řešení umožňují názorné, poměrně rychlé a nenákladné „zmapování“ zkoumaného fyzikálního pole v uvažované oblasti. Tyto metody mají též nesporný význam didaktický.

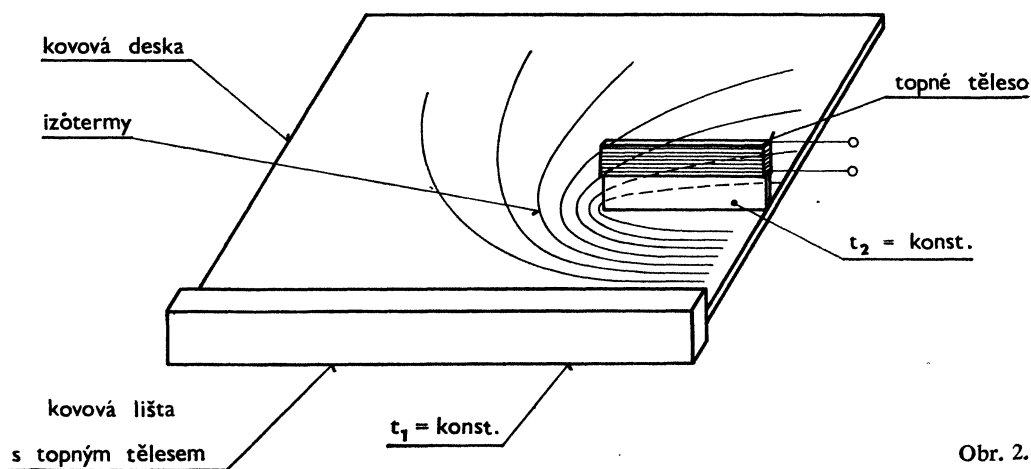
Nová varianta analogového řešení okrajových úloh využívá kapalných krystalů. Kapalně krystalové látky jsou složité organické látky, jejichž molekuly mají protáhlý anizotropický tvar. Mezi pevným a kapalným stavem mají ještě další, tzv. mezomorfní stav, v němž jejich molekuly vykazují určitou pravidelnou strukturu (obr. 1), [11] až [16]. Kapalně krystalové látky se proto též nazývají mezofází. Mezomorfní stav vzniká ovšem jen za určitých fyzikálních podmínek, např. v určitém teplotním intervalu, a projevuje se četnými zajímavými optickými, elektrickými a dalšími fyzikálními vlastnostmi, které předurčují jejich rozsáhlé využití, zejména v měřicí technice. Podle dokonalosti uspořádání molekulární struktury rozlišujeme tři zásadní typy mezofází: smektickou, nematickou a cholesterickou, přičemž smektický typ představuje nejdokonalejší uspořádání molekul. Zatímco nematické kapalně krystalové látky se uplatnily pro své výhodné elektrooptické vlastnosti při realizaci displejů (zejména alfanumerických indikátorů, používaných např. v číslicových měřicích přístrojích) [14], cholesterické kapalně krystalové látky se používají jako citlivé barevné teplotní indikátory. Cholesterické kapalně krystalové látky jsou vícesložkové směsi různých derivátů cholesterolu a jiných látek, jež v jistém teplotním intervalu tvoří mezofázi; její tenká vrstva má zajímavé optické vlastnosti: z dopadajícího bílého světla odráží jen určité vlnové délky, takže se pozorovateli jeví zbarvená (tzv. selektivní rozptyl světla). Při změně teploty se změní strukturální parametry mezo-

Obr. 1.



fáze, tím se posune maximum rozptylu do jiné oblasti vlnových délek a dochází ke změně barvy. Aby byly barvy výrazné, nanáší se tenká vrstva teplotního indikátoru na černý podklad (tj. předmět, jehož teplotu zkoumáme, natřeme černou barvou, která je nerozpustná v kapalném krystalu). Jistému teplotnímu intervalu odpovídá plynulý přechod od bezbarvého stavu přes červenou, žlutou, zelenou, modrou a fialovou barvu opět k bezbarvému stavu, přičemž každé barvě jednoznačně odpovídá určitá teplota. Tyto změny jsou reverzibilní. Šířku intervalu teplot, v němž proběhnou barevné změny, lze v širokých mezích měnit poměrným zastoupením složek ve směsi.

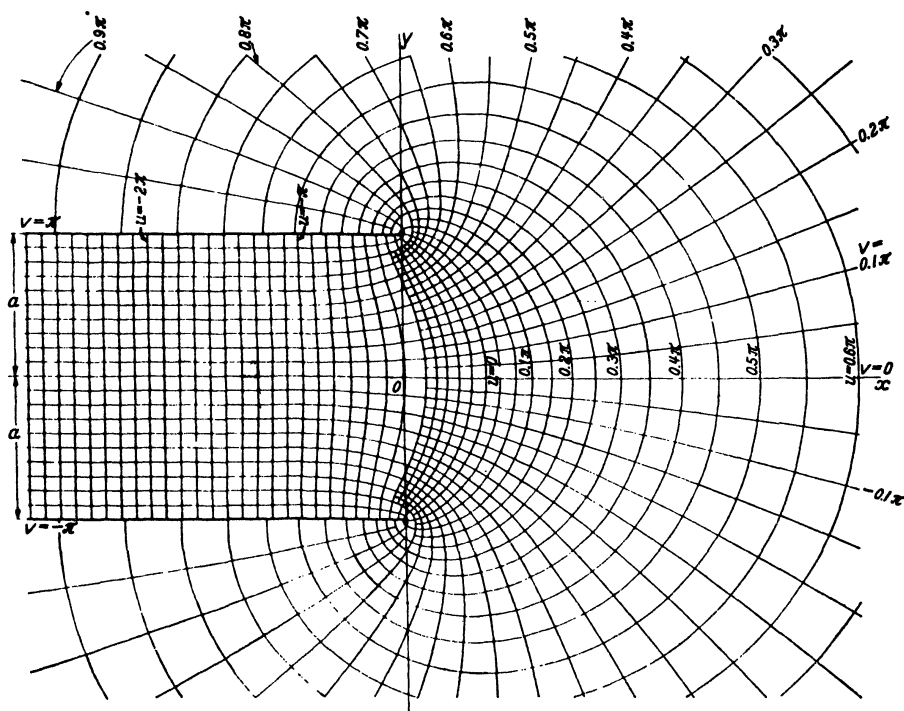
Z uvedených vlastností kapalných krystalů cholesterického typu je zřejmé, že lze jimi bezprostředně zviditelňovat rozložení dvojrozměrných teplotních polí: zkoumaná oblast nabývá různého zabarvení, přičemž každé barvě odpovídá izotermická plocha. Zatím nalezl nejširšího uplatnění tento způsob zmapování teplotních polí (tzv. kontaktní



Obr. 2.

termografie) v lékařství jakožto jedna z diagnostických metod [15]. Přitom se používají kapalně krystaly takového složení, u nichž barevné změny proběhnou v teplotním intervalu blízkém tělesným teplotám, např. 35 až 38 °C [16]. Kapalně krystaly cholesterolového derivátu se dále používají při nedestruktivní defektoskopii (nehomogenity v materiálu se projeví v rozložení teplotního pole), při zkoumání rozložení energie elektromagnetického záření o velmi vysokých kmitočtech, při lokalizaci vadných součástí mikroelektronických bloků; ve spektroskopii lze jimi zviditelnovat infračervené a ultrafialové záření.

Pomocí teplotního analogonu a barevného teplotního indikátoru na bázi kapalně krystalu cholesterického typu lze provést zviditelnění dvojrozměrných fyzikálních polí. Na tepelně vodivé desce (např. měděném plechu) vymodelujeme zkoumanou oblast a příslušné okrajové podmínky. Okrajovým podmínkám 1. druhu (Dirichletovým) odpovídá předepsané rozložení teploty; okrajovým podmínkám 2. druhu (Neumannovým) odpovídá předepsané rozložení tepelného toku. Nanesením vrstvy kapalných krystalů na povrch tohoto tepelného analogonu se barevně zobrazí izotermy teplotního pole.



Obr. 3.

Na obr. 2 je znázorněno zobrazení ekvipotenciál elektrostatičeského pole deskového kondenzátoru. Na obr. 3 je rozložení ekvipotenciál a siločar deskového kondenzátoru v komplexní rovině $z = x + jy$, získané známým výpočtem z komplexního potenciálu

$w = u(x, y) + jv(x, y)$ (J. C. Maxwell) [17]. Vzhledem k osové symetrii je modelována jen polovina vyšetřované oblasti; ose symetrie a elektrodě kondenzátoru odpovídá na tepelném analogonu Dirichletova okrajová podmínka: teploty t_1, t_2 těchto částí hranice zkoumané oblasti jsou konstantní (resp. nastavitelné). Při použití kapalných krystalů, u nichž veškeré barevné změny proběhnou v nevelkém intervalu teplot (např. 50 až 52 °C) se barevně zobrazí jen úzký svazek ekvipotenciál, jejichž průběh vyšetřovaným místem zkoumané oblasti se dosáhne vhodným nastavením teplot t_1 a t_2 .

Vývojem kapalných krystalů cholesterického typu se u nás úspěšně zabývá kolektiv pracovníků katedry anorganické technologie VŠCHT v Pardubicích (vedoucí prof. ing. dr. Jiří MÝL), jimž děkuji za poskytnutí vzorků.

Literatura

- [1] VAŠKO A.: *Obrazové měniče*. SNTL, Praha 1954.
- [2] SEQUENS J.: *Zviditelnění teplotních gradientů přechodných jevů*. Elektrotechn. Obzor, 52 (1963), č. 2, str. 86—92.
- [3] SEQUENS J.: *Zviditelnění fyzikálních polí*. Vesmír, 46 (1967), č. 7, str. 200—206.
- [4] JÁVOR T.: *Analógie*. ALFA, Bratislava 1972.
- [5] KARPLJUS W. J.: *Analog Simulation*. McGraw Hill Book Co., New York 1958.
- [6] NOŽIČKA J.: *Analogové metody v proudění*. Academia, Praha 1967.
- [7] RJAZANOV G. A.: *Opyty i modelirovanije pri izučenii elektromagnitnogo polja*. Izd. „Nauka“, Moskva 1966.
- [8] RJAZANOV G. A.: *Električeskoje modelirovanije s primeněnijem vichrevych polej*. Izd. „Nauka“, Moskva 1969.
- [9] KRONDL M.: *Modelle elektrischer und magnetischer Felder*. Elektrotechnik und Maschinenbau, 57 (1939), 543—548.
- [10] OLSON F.: *Solutions of Engineering Problems by Dynamical Analogies*. D. van Nostrand Co., Inc., Princeton 1966.
- [11] Literární řešerše ORR/38/76 (72 záznamů) a ORR/39/76 (67 záznamů). ÚVTEI — Státní technická knihovna, Praha 1 - Klementinum.
- [12] MEIER G., SACKMANN E., GRABMAIER J. G.: *Application of Liquid Crystals*. Springer, Berlin 1975.
- [13] WILLIAMS E. L.: *Liquid Crystals for Electronic Devices*. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey 1975.
- [14] HOUTEN S. VAN: *Fyzikální vlastnosti displejů*. Čsl. časopis pro fyziku, 24A (1974), 41—52.
- [15] MANN M., PIRKL S.: *Kapalné krystaly v medicíně*. Vesmír, 55 (1976), č. 3, str. 78—79.
- [16] ŠMORANEC P., PŠENIČKA O., PIRKL S.: *Kapalné krystaly MT 30/40 pro lékařskou termografii*. Vesmír, 53 (1974), str. 284.
- [17] HAŇKA L.: *Teorie elektromagnetického pole*. SNTL, Praha 1975.

Shoda názorů

Algebra není nic jiného než zapsaná geometrie,
geometrie není nic jiného než zobrazená algebra.

Sophie Germain

Aritmetické znaky jsou zapsané obrazy a geo-
metrické obrázky jsou nakreslené vzorce.

David Hilbert