

Časopis pro pěstování matematiky a fyziky

Jan Bouška

Experimentální studium geomagnetických prostorových gradientů jako prostředek k objasnění některých problémů geomagnetického pole

Časopis pro pěstování matematiky a fyziky, Vol. 75 (1950), No. 2, D155--D158

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120765>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1950

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>

FYSIKA V TECHNICE

EXPERIMENTÁLNÍ STUDIUM GEOMAGNETICKÝCH PROSTOROVÝCH GRADIENTŮ JAKO PROSTŘEDEK K OBJASNĚNÍ NĚKTERÝCH PROBLÉMŮ GEOMAGNETICKÉHO POLE.

Dr JAN BOUŠKA, Praha.

Geomagnetické gradienty mají tentýž vědecký a praktický význam, jako gradienty tíže. Měříme je gradiometrem. Geomagnetický gradient je veličina nepatrná, proto konstrukce gradiometru je úkol velmi nesnadný. Jeho rozřešení položí základy nové kapitoly zemského magnetismu.

Pokroky v geomagnetismu, dosažené v první polovině tohoto století, jsou převážně připisovány teoriím, vybudovaným na nejnovějších objevch moderní fysiky. U těchto teorií, na př. u teorií permanentního pole včetně nejnovějších teorií rotačních, se často objevují zřetelné nedostatky tam, kde mají vykázat kvantitativní souhlas s výsledky pozorování skutečného geomagnetického pole. V mnohých případech však nelze přičítat nesouhlas jen nedostatkům teorií, nýbrž naopak zase neúplnosti a nepřesnosti výsledků pozorování. Tak je tomu na př. v otázce bezpotenciální části geomagnetického pole. Proto vedle zájmů ryze theoretických vzrůstá též zájem o vybudování nových method měření a nových konstrukcí přístrojů, spočívajících na jiných principech a poskytujících větší přesnost než dosud obvyklé metody měření geomagnetických elementů a složek. Jedním z úkolů tohoto druhu je experimentální studium možných způsobů měření geomagnetických prostorových gradientů, jež jsou vědecky i prakticky stejně významné, jako gradienty tíhového pole [1], [2].

Pozorovací metoda v geofysice závisí vždy na řádové velikosti pozorované veličiny. Proto nejprve vyšetříme řádové velikosti geomagnetických gradientů. Pro jednoduchost předpokládejme, že geomagnetické pole lze nahradit polem centrovaného dipólu a že toto pole je časově neproměnné. Zvolíme-li polární souřadnice r , Λ , Φ , jsou polární geomagnetické složky vzhledem ke geomagnetické ose a severnímu magnetickému pólu: $H = -\frac{H_0 a^3}{r^3} \sin\Phi$, $Z = -\frac{2H_0 a^3}{r^3} \cos\Phi$. Pole je tedy rozloženo zonálně tak, že jeho rozložení nezávisí na Λ . Příslušné gradienty pro $r = a$ jsou:

$$\frac{\partial H}{\partial r} = \frac{3H_0}{a} \sin\Phi, \quad \frac{\partial Z}{\partial r} = \frac{6H_0}{a} \cos\Phi, \quad \frac{\partial H}{r\partial\Phi} = -\frac{H_0}{a} \cos\Phi,$$

$$\frac{\partial Z}{r\partial\Phi} = \frac{2H_0}{a} \sin\Phi.$$

H_0 je intenzita magnetického pole na rovníku. Položíme-li $H_0 = 0,315 \Gamma$, $a = 6,371 \cdot 10^8$ cm, jsou řádové velikosti gradientů $\frac{\partial Z}{\partial r} = 3 \cdot 10^{-4} \cos\Phi$ γ/cm , $\frac{\partial H}{\partial r} = 1,5 \cdot 10^{-4} \sin\Phi \gamma/\text{cm}$, $\frac{\partial Z}{r\partial\Phi} = 1 \cdot 10^{-4} \sin\Phi \gamma/\text{cm}$, $\frac{\partial H}{r\partial\Phi} = -0,5 \cdot 10^{-4} \cos\Phi \gamma/\text{cm}$.

Zvolme pravoúhlou soustavu souřadnou x, y, z , libovolně orientovanou. Každý bod na povrchu Země a nad ním můžeme pak charakterizovat třemi magnetickými složkami X, Y, Z a devíti magnetickými gradienty $\frac{\partial X}{\partial x}, \frac{\partial X}{\partial y}, \dots, \frac{\partial Z}{\partial z}$. Tyto gradienty jsou ve skutečném geomagnetickém poli obecně od nuly různé. Bylo by užitečné vyšetřit přímým měřením gradientů obecné vztahy mezi nimi a ověřit tak domněnku, že geomagnetické pole má nebo nemá potenciál. Má-li pole skalární potenciál V , je

$$X = \frac{\partial V}{\partial x}, \quad Y = \frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z = \frac{\partial V}{\partial z}.$$

Dosadíme-li za X, Y, Z pravé strany těchto rovnic do výše uvedených gradientů, zjistíme, že platí vztahy

$$\frac{\partial X}{\partial z} = \frac{\partial Z}{\partial x}, \quad \frac{\partial Z}{\partial y} = \frac{\partial Y}{\partial z}, \quad \frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{\partial X}{\partial y} \quad \text{a} \quad \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = \text{div} T = 0.$$

Význam nejpřesnějšího měření všech devíti jednotlivých gradientů pro ověření uvedených vztahů je zřejmý.

Sférická harmonická analýza magnetických dat vede k poznatku, že geomagnetické pole je složeno ze tří částí: vnitřní (příčina uvnitř pevné Země), vnější (příčiny mimo pevnou Zemi) a bezpotenciální. Dále bylo prokázáno, že vnější část je jen nepatrným zlomkem (asi 2 až 3%) celkového pole. Tyto poznatky by mohly být ověřeny přímým měřením geomagnetických gradientů. Podrobnější rozbor však ukazuje, že experimentální zjišťování změn $\frac{\partial H}{\partial r}$ a $\frac{\partial Z}{\partial r}$, náležejících vnější části pole, by pro jejich nepatrnou velikost působilo takové nesnáze, že bude i nadále lépe zůstat u dosavadního způsobu pozorování elementů resp. složek a jejich vyšetřování harmonickou analýsou.

Při soustavném výzkumu uzavřených smyček přes rozsáhlá území bylo zjištěno, že integrály $\oint H_{\parallel} ds$ horizontální složky H , podél elementu dráhy ds nejsou rovny nule, jak by měly být, kdyby celkové geomagne-

tické pole mělo potenciál. Příčinou této skutečnosti mohou být vertikální elektrické proudy, pro jejichž řádovou velikost byla vypočtena hodnota 10^{-12} A/cm². Je to hodnota nepříjemně veliká, neboť dosud známé atmosféricko-elektrické proudy mají pouze 10^{-4} násobek této hodnoty. Její existence si však vynucuje předpoklad bezpotenciální části celkového geomagnetického pole. Kdyby takové části nebylo, musily by se orthogonální trajektorie k isogonám beze zbytku uzavírat; takové čáry byly počítány a bylo shledáno, že se neuzavírají, čímž byla domněnka o bezpotenciální části pole opět posílena. Protože jde o vertikální elektrický proud, bylo by nejvýš zajímavé experimentální studium výrazu $\frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial y}$.

Poskytlo by průkazný materiál, bez něhož nelze jen tak přijmouti tvrzení některých geomagnetiků, jako by domnělá existence bezpotenciální části geomagnetického pole byla vyvolána nepřesností a neúplností pozorovacího materiálu, z něhož byla vyvozena.

Velký význam by mělo měření magnetických gradientů v polárních oblastech, kde by zajisté podstatně přispělo k objasnění složitých poměrů tamního permanentního pole a jeho neobyčejně velkých změn [3].

Pro užitou geofysiku vyplývá význam přímého měření geomagnetických gradientů ze skutečnosti, že na místech lokálně porušených je měření těchto gradientů mnohem snadnější než v oblastech neporušených.

V celku se ukazuje, že experimentální studium geomagnetických gradientů je pro jejich nepatrnou hodnotu úkol nesnadný. Neustálé změny geomagnetického pole jej ještě ztěžují. Z předešlého plyne, že někdy je účelné měřit přímo jednotlivé gradienty, jindy zase jejich různé kombinace. To vede ke dvěma způsobům konstrukce přístrojů, z nichž jedny by měřily jednotlivé gradienty, druhé jejich příslušné kombinace. Takové přístroje nazveme *gradiometry*. Při jejich konstrukci lze použít kombinace zemských induktorů [4]. Bylo uvažováno také o možnosti měřit horizontální geomagnetické gradienty Eötvösovými gravitačními vahami. Zatím však můžeme říci, že vhodná konstrukce gradiometru zůstává otevřeným problémem a nevymanila se dosud ani z prvních počátků. Úspěšné rozřešení tohoto problému položí praktické základy nové kapitole geomagnetického bádání.

LITERATURA.

- [1] J. A. FLEMING: *Terrestrial Magnetism and Electricity*. VIII. *Physics of the Earth*, Washington 1939. •
- [2] S. CHAPMAN a J. BARTELS: *Geomagnetism*. Oxford 1940.
- [3] S. CHAPMAN: The space-gradients of the Earth's magnetic field. *Terr. Magn. and Atm. Electr.*, **41**, 2, 1936.
- [4] H. HAALCK: Der Erdinduktor als Lokalvariometer und seine praktische Verwendungsmöglichkeit. *Zschr. f. techn. Physik*, **6**, 1925.
- [5] A. BERROTH a A. SCHLEUSENER: Erdmagnetische Messungen mit Hilfe der Drehwaage. *Zschr. f. Geophysik*, **9**, 1933.

Геомагнитные градиенты имеют такое же научное и практическое значение, как градиенты силы тяжести. Измеритель градиента называется градиометр. Геомагнитный градиент маленький, поэтому конструкция градиометра очень трудная задача. Ее разрешение будет создавать основания новой главы земного магнетизма.

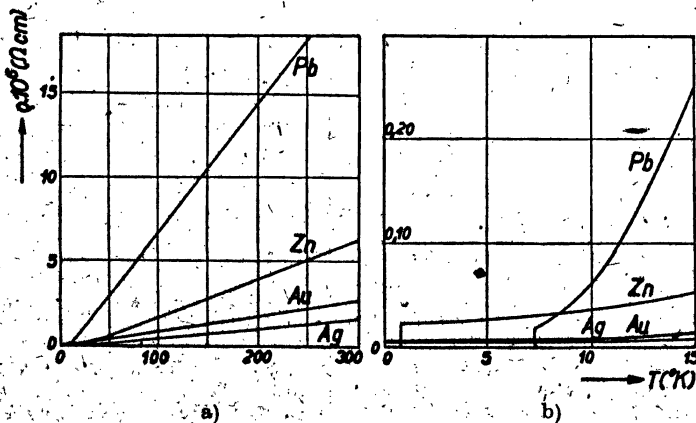
FYSIKA NÍZKÝCH TEPLŮT.

Část II. Supravodivost.

Dr IVAN ŠIMON.

Jedním z prvních překvapujících objevů, které byly umožněny zvládnutím oboru nejnižších teplot, byl objev t. zv. *supravodivosti* (K. ONNES, v Leidenu 1911). Stejně jako pozdější objev suprafluidity kapalného helia (srv. Fysika v technice, 3, 1948, 223), zůstává supravodivost dodnes bez uspokojivého výkladu v rámci teorie elektrické vodivosti kovů. V obou těchto případech vykazuje hmota ve svých makroskopických vlastnostech chování zcela neočekávané a odporující dřívějším zkušenostem. To jest — aspoň v „neatomární“ fyzice — situace celkem výjimečná a také neuspokojivá; rozhodně však podnětná pro další výzkum.

I. Elektrické vlastnosti supravodičů. Odpor všech čistých kovů klesá s absolutní teplotou, z počátku přibližně úměrně, u nízkých teplot pak prudce, podle Blochovy teorie [1] s pátou mocninou abs. teploty. Odpor každého kovu by tedy měl úplně vymizet u absolutní nuly. Ve skutečnosti se však odpor blíží s klesající teplotou určité, byť i velmi malé, mezní hodnotě (zbytkový odpor R_0 ; obr. 1). Zbytkový odpor silně závisí na čistotě a stavu kovu (s čistotou klesá, roste s vnitřním pnutím a se stupněm plastické deformace při zpracování). Při studiu odporu rtuti (obr. 2) zjistil K. ONNES [2] překvapující skutečnost, že tento zbytkový



Obr. 1. Závislost odporu některých kovů na teplotě a) v širokém teplotním rozsahu, b) v oboru nízkých teplot.