

Karel Teige

Vedení elektřiny a tepla v kovech. [I.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 53 (1924), No. 3, 295--308

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121633>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1924

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>

densace, od množství kondensačních jader suspendovaných v atmosféře; při větším jich počtu, větší rychlosti, bude stoupání prudší a úhel ( $90 - \delta$ ) přímky  $p$  bude malý, čímž přesnost je zvýšena.\*)

Podrobný průběh kondensačních křivek, pro různá množství jader, pro různé druhy a pro různý tepelný spád, bude vyšetřen v práci další.

Tato práce byla provedena v I. oddělení fysik. ústavu, jehož řediteli p. prof. Posejpalovi za pokyny a účast vzdávám uctivý dík.

### La détermination directe du point de rosée par le pesage.

(Extrait de l'article précédent.)

Le corps de condensation suspendu à une balance est refroidi jusqu'à ce qu'il se couvre de rosée à la température du point de rosée. Cette irroration devant être constatée à son début, on choisit la grandeur de la superficie du cylindre au moins telle que la balance réagisse au surcroît du poids de la couche monomoléculaire de la vapeur d'eau. On fait la mesure en lisant en même temps la température et la position de la balance.

Jusqu'au point de rosée la courbe représente la loi d'Archimède. Au delà du point de rosée elle est une superposition de la courbe indiquant la diminution du poids par le refroidissement et de la courbe indiquant l'augmentation du poids par la condensation des vapeurs sur le corps de condensation (droite  $p$ ).

Le point de rosée est déterminé par le point d'intersection de la droite  $p$  avec l'axe des températures.

## Vedení elektřiny a tepla v kovech.

Referuje Karel Teige.

Pojem kovového vedení a rozdělení látky.

Při vedení elektřiny zůstává buď hmota, kterou prochází elektrický proud beze změny, anebo se rozkládá. První vedení nazýváme kovovým, metalickým, druhé pak elektrolytickým. Při průchodu elektřiny elektrolytem, na př. vodou, ve které je rozpuštěna nějaká sůl, možno pozorovati změnu koncentrace, jakož i vylučování iontů na katodě i anodě. Naproti tomu při průchodu elektřiny kovy a jich slitinami není pozorovati nejmenší změnu hmoty. Tato kovová vodivost nevyskytuje se pouze

\*) Za platnou pomoc při dvouměsíčních měřeních děkuji kol. Heydukovi.

u kovů ve smyslu chemickém, t. j. u elektroaktivních prvků, nýbrž i celá řada pevných metalloidů vede kovově, jako na př. uhlík, silicium, selen, červený fosfor. Mimo to i mnoho sloučenin vede elektřinu kovově; všeobecně všechny ty, které jsou ve stavu krystalickém nápadny svým kovovým leskem. Jsou to rudy, které v mineralogii se zovou leštěnci a kyzy. Sem náleží velká řada kysličníků, síranů, selenidů těžkých kovů. Avšak jsou též průhledné kysličníky ostatních kovů, které teprve za velmi vysoké teploty vedou kovově elektřinu. Při některých slabě vodivých sloučeninách není možno s určitostí rozhodnouti, zda vedou vskutku kovově, či není-li jich vodivost způsobena stopou vlhkosti, kterou lze pouze s největší námahou odstraniti.

Již při prvních měřeních vodivosti elektrické bylo pozorováno, že u kovů je velmi úzký vztah mezi vodivostí elektrickou a tepelnou. Roku 1853 vyslovili tento vztah Wiedemann a Franz takto:

Poměr vodivosti tepelné ku vodivosti elektrické je u všech kovů za téže teploty týž.

L. Lorenz r. 1882 tento zákon doplnil takto:

Změna poměru vodivosti tepelné ku vodivosti elektrické je úměrná změně absolutní teploty.

Ačkoliv oba tyto zákony neplatí úplně přesně, přece je z nich patrné, že vodivost tepelná kovů bude míti asi tutéž příčinu jako vodivost elektrická, čímž je ospravedlněno, že oba zjevy probíráme pospolu.

V tomto čísle pojednáme o výsledcích měření vodivosti, v čísle pak příštím podáme přehled teorií vedení elektřiny a tepla v kovech. O zjevích thermoelektrických a o působení magnetického pole na vedení elektřiny a tepla v kovech pojednáme v ročníku příštím.

### I. Část experimentální.

#### 1. Vodivost elektrická čistých kovů za teplot vyšších než je teplota kapalného helia.

O velikosti elektrické vodivosti kovů, jakož i o jejím poměru ku velikosti elektrolytů, učiníme si pojem, uvedeme-li dle Baedekera<sup>1)</sup> tuto malou tabulku odporu 1 ccm látky (odpor je vyjádřen v ohmech).

Stříbro při teplotě $-259.22^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$1.04 \times 10^{-8}$
„ za obyčejné teploty . . . . .	$1.06 \times 10^{-6}$
Vizmut „ „ „ . . . . .	$1.02 \times 10^{-4}$
Slitiny mají odpory . . . . .	$(0.2-0.5) \times 10^{-4}$
Kovové sloučeniny, pokud nepatří ke slitinám, od .	$1.2 \times 10^{-4}$
Grafit (C) . . . . .	$2.8 \times 10^{-3}$
Kyselina sírová . . . . .	1.35.

<sup>1)</sup> Baedeker: Elektrische Erscheinungen in metallischen Leitern. Braunschweig, 1911.

Rovněž je zajímavá druhá tabulka, kterou uvádí Baedecker, totiž závislost elektrické vodivosti kovů na jich postavení v periodické soustavě prvků (vodivost je vyjádřena v reciprokých ohmech. cm.  $10^{-4}$ ).

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
<i>Li</i> 11·9	—	—	<i>C</i> <sup>1)</sup> 0·034	—	—
<i>Na</i> 21·1	<i>Mg</i> 24	<i>Al</i> 37	—	—	—
<i>K</i> 15·0	<i>Ca</i> 9·5	—	<i>Ti</i> 0·28	—	<i>Fe</i> <i>Ni</i> <i>Co</i> 11·5, 14·4, 11
<i>Cu</i> 64	<i>Zn</i> 17·5	<i>Ga</i> 1·9	—	<i>As</i> 2·86	—
<i>Rb</i> 7·8	<i>Sr</i> 4·0	—	—	<i>Nb</i> 5·4	<i>Ru</i> , <i>Rh</i> , <i>Pd</i> ?, 18, 10·0
<i>Ag</i> 67	<i>Cd</i> 14·6	<i>In</i> 11·9	<i>Sn</i> 9·8	<i>Sb</i> 2·6	—
<i>Cs</i> 5·2	—	—	—	<i>Ta</i> 6·8	<i>Os</i> , <i>Ir</i> , <i>Pt</i> 10, 20, 9·9
<i>Au</i> 46	<i>Hg</i> <sup>2)</sup> 4·5	<i>Tl</i> 5·6	<i>Pb</i> 5·1	<i>Bi</i> 0·90	—

Uvedené hodnoty vztahují se na nejčistší kovy, neboť i velmi malé stopy nečistot velmi snižují vodivost. Při slitinách budeme o tom mluvit ještě podrobněji. Také kalení zmenšuje vodivost. U zlata klesne vodivost kalením o 1·7%, u mědi o 2·5%, u stříbra o 6·5%. Největší změna vodivosti kalením nastává u ocele, kde vodivost klesne až na třetinu. Příčinou zde jsou asi chemické změny, které nastávají kalením. Nejisté (asi na 10%) jsou uvedené hodnoty u kovů, které mají velkou schopnost krystalizační (*Bi*, *Sb*) a u kovů ferromagnetických (*Fe*, *Ni*, *Co*). Avšak ani u ostatních látek není uvedena hodnota pro vodivost zaručena na více než asi na 2%.

Z uvedené tabulky je patrné, že vodivost je řádově určena elektrochemickým postavením prvku v periodické soustavě. Avšak není patrná nějaká závislost ani na atomovém čísle ani na atomovém objemu. O rozdílu vodivosti různých izotopů téhož kovu není také dosud nic známo. Některé metalloidy a kovy sousedící s metalloidy v periodické soustavě vyskytují se ve více modifikacích. Avšak více než jedna dobře vodivá modifikace u jednoho a téhož prvku nebyla dosud nalezena. Naproti tomu u *C*, *Si*, *As*, *Sb*, *Se* je větší počet částečně vodivých a nevodivých modifikací. V krystalech závisí vodivost na směru, kterým prochází proud. Tato galvanická anisotropie krystalů je dosud málo prozkoumána. Zvláštní třídu kovových vodičů objevil Baedecker.<sup>3)</sup> Jodid mědný (*CuJ*), sloučenina to jednomocné mědi s jodem a jodid stříbrný (*AgJ*) mají schopnost v pevném skupenství volný jod absorbovat, čímž

<sup>2)</sup> grafit.

<sup>3)</sup> tuhá při  $-40^{\circ}\text{C}$ .

<sup>4)</sup> Phys. ZS. 13, 1080; 1912. Ann. der Phys. 29, 566; 1910.

se stávají vodiči elektřiny. Čisté tyto sloučeniny naproti tomu jsou izolátory. 1 gr sloučeniny  $CuJ$  může být při obyčejné teplotě absorbovat 3·3 mg volného jodu. Při tom jeho vodivost je asi stokrát větší než je vodivost nejvodivější kyseliny sírové. Při  $AgJ$  jsou změny daleko menší. Užité praeparáty byly zhotoveny katodovým rozprašováním kovů na sklo a pak působením par jodových. Že tyto praeparáty vedou vskutku kovově, je patrné z toho, že se proudem nerozkládají a že se dají vřaditi do Voltaovy řady. Jelikož jejich vodivost se mění s obsahem jodu, můžeme tyto vodiče považovati za kovové vodiče s proměnnou koncentrací elektronů. Pro praeparáty chudé na jod, tedy pro špatně vodivé praeparáty, platí obdobný zákon jako u zředěných roztoků, že totiž vodivost je úměrná koncentraci jodu. Stran podrobností budiž poukázáno na práce Ruderta,<sup>6)</sup> Waldena<sup>6)</sup> a Carrary.<sup>7)</sup>

Nyní obrátíme se ku vlivu teploty na vodivost. Měření vodivosti kovů již asi v polovině minulého století ukázala na velmi jednoduchou závislost odporu  $R$  na teplotě, kterou *r.* 1858 Clausius těmito slovy vyjádřil:

Specifický odpor  $R$  čistých kovů stoupá skoro lineárně s teplotou. Jeho temperaturní koeficient je velmi přibližně rovný koeficientu roztažlivosti ideálních plynů, který je 0·00367.

Přesnými měřeními bylo zjištěno, že tento zákon platí pouze přibližně. Skutečné chování kovů můžeme dle Baedekera (l. c.) vyjádřiti těmito čtyřmi zákony:

1. Ani u nejčistších kovů není tepelný koeficient odporu stejný. Znečištěním se značně zmenšuje.

2. Hodnota temperaturního koeficientu  $R$  v okolí 18° C je všeobecně větší než koeficient roztažlivosti plynů. Leží mezi 0·0036 a 0·0048. Výjimku činí ferromagnetické kovy, u nichž temperaturní koeficient odporu je značně větší.

3. Specifický odpor ve větším intervalu teploty nutno přesně vyjádřiti kvadratickou funkcí teploty

$$R_{\tau} = R_0 (1 + \alpha \tau + \beta \tau^2),$$

při čemž  $\beta$  je řádu  $10^{-6}$  a je pozitivní, s výjimkou platinové skupiny. Uvedeme nyní hodnoty konstant  $\alpha$  a  $\beta$  u některých kovů, jak je naměřil *r.* 1873 Benoit.<sup>8)</sup>

	$\alpha$	$\beta$
Aluminium	0·003876	0·000001320
Olovo	0954	1430
Kadmium	4264	1765

<sup>6)</sup> Ann. der Phys. 31, 559, 1910.

<sup>7)</sup> ZS. für phys. chem. 43, 385, 1903.

<sup>7)</sup> Carrara: Elektrochemie der nichtwässrigen Lösungen. 1908, str. 18.

<sup>8)</sup> M. Benoit, C. R. 76, 342, 1873.

	$\alpha$	$\beta$
Železo	0·004516	0·00005828
Měď	3637	0587
Zlato	3677	0426
Magnesium	3870	0863
Palladium	2787	0611
Platina	2454	0594
Rtuf	0882	1140
Stříbro	3972	0687
Ocel	4978	7351
Thallium	4125	3488
Zinek	4192	1481
Cín	4028	5826

4. Při teplotách kapalného helia přestávají se kovy řídití uvedenými zákony. O chování kovů za těchto teplot budeme zvláště mluvit.

U některých kovů nevystačíme však ani s kvadratickou funkcí pro odpor. Jsou to ferromagnetické kovy, u nichž temperaturní koeficient odporu vykazuje při jisté teplotě maximum (*Fe*, *Co*), po případě ještě minimum. Uvedeme zde hodnoty pro temperaturní koeficient odporu  $\alpha$  u *Fe* a *Ni*, jak je naměřil Som merville.<sup>9)</sup> Abychom mohli porovnatí chování *Fe* a *Ni* s jinými kovy, uvedeme ještě jiné obdobné hodnoty pro *Al* a *Ag*.

Teplota v C	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>	<i>Ag</i>
25	0·0052	0·0043	0·0035	0·0030
100	68	43	38	36
200	90	70	39	39
300	111	80	41	40
400	133	36	43	42
500	147	30	44	44
600	170	28	48	46
700	224	26	50	47
800	120	25	61	52
900	46	28		58
1000	50	37		
1075		62		

Zajímavý vztah mezi temperaturním koeficientem odporu a atomovým objemem v objevil Streinz, který zní:

Temperaturní koeficient odporu  $\alpha$  je úměrný třetí odmocnině z atomového objemu  $v$ ,

$$\alpha = a\sqrt[3]{v}$$

<sup>9)</sup> A. A. Som merville, Phys. Rev. 31, 261, 1910 a 33, 77, 1911.

Při tom  $a = 180.2 \times 10^{-5}$ . Jak tento vztah jest splněn, o tom poučuje nás tato tabulka:

Jméno kovu:	$\alpha \cdot 10^5$	$\nu$	$a \sqrt[3]{\nu} \cdot 10^5$	$\Delta \cdot 10^5$
Palladium	368	8.905	373	— 5
Platina	384	9.107	376	8
Aluminium	390	10.00	388	2
Stříbro	400	10.250	391	9
Zlato	368	10.260	391	— 23
Kadmium	425	13.024	428	— 3
Cín	465	16.346	457	8

Broniewski našel závislost mezi koeficientem tepelné roztažlivosti a tepelným koeficientem odporu.

Je-li  $\beta_t$  koeficient tepelné roztažlivosti,  $F$  absolutní teplota bodu tání, tu platí dle Broniewského vztah<sup>10)</sup>

$$\beta_t = \text{konst} (nF + T),$$

kde  $n = 1$  pro jednoatomové kovy (*Al, Ag, Au, Cd, Cu, K, Pd, Pt, Ir*), a  $n < 1$  pro víceatomové kovy (*Fe, Ni, Co, Sb, Tl, Zn, Bi, As*).

Odpor kovů  $R$  závisí prý na abs. teplotě  $T$  vztahem

$$R = \text{konst} (2F + T) T.$$

U víceatomových kovů má vliv také event. změna molekuly, pročez tam neplatí tak jednoduchý zákon.

Jiný empirický zákon našel Stein,<sup>11)</sup> a to mezi elektrickým odporem  $R$ , abs. teplotou tání kovu  $F$  a atomovým objemem  $\nu$ . Dle Steina veličina

$$\frac{R F}{\nu}$$

u různých kovů je vždy celistvým násobkem téže hodnoty. Jelikož ani shoda není nejlepší, ani theoretické odvození uspokojivé, myslíme spíše, že jde pouze o nahodilou pravidelnost. Totéž možno říci asi také o obou předchozích vztazích.

Zajímavý je vztah vodivosti jodových preparátů na teplotě. U preparátů chudých na jod je temperaturní koeficient odporu záporný. S rostoucí koncentrací stává se kladným a blíží se temperaturnímu koeficientu čistých kovů.

Při tání kovů nastává skok v odporu. Je-li  $R_p$  odpor kovu při teplotě tání ve skupenství pevném,  $R_k$  ve skupenství kapalném, tu pro poměr  $R_k/R_p$  byly různými autory naměřeny níže uvedené

<sup>10)</sup> J. Chim. phys. 5, 609, 1907.

<sup>11)</sup> Phys. ZS. 13, 287, 1913.

hodnoty, které seřadil Koenigsberger (Handbuch der Elektr. und Magnet., sv. III., str. 617.)

Kov:	$\frac{R_k}{R_p}$	$1 + \frac{\alpha}{c} \varrho$
Olovo	1·9	1·74
Kadmium	1·9	2·04
Gallium	0·47	—
Natrium	1·36	1·36
Kalium	1·44	1·44
Vizmut	0·46	—
Antimon	0·71	—
Zinek	2·0	1·96
Cín	2·1	—
Tellur	2·1	—
Rtuť	3·8—5	1·3

F. Hauer ukázal, jak svrchu také uvádíme, že poměr vodivosti  $R_k/R_p$ , pokud je větší než jedna, se přibližně rovná

$$1 + \frac{\alpha}{c} \varrho$$

kde  $\alpha$  značí temperaturní koeficient odporu,  $c$  specifické teplo a  $\varrho$  skupenské teplo tání. K tomuto vztahu se ještě v části theoretické vrátíme.

## 2. Elektrická vodivost čistých kovů při teplotách kapalného helia. (Supravodivost kovů.)

Dne 10. června r. 1908 podařilo se Kamerlingh Onnesovi zkapalnit helium a tím připravit teploty velmi blízké absolutnímu bodu mrazu, neboť helium za atmosférického tlaku vře při  $-269^{\circ}$  za tlaku 3 mm rtuťi při  $-271\cdot5^{\circ}$ . V okolí těchto teplot byla a jsou konána dále měření elektrické vodivosti v Leidenském fyzikálním ústavě. Při těchto měřeních se ukázalo velmi zajímavé a neočekávané chování elektrické vodivosti. Snižujeme-li teplotu kovu, tu až do jisté teploty odpor jeho spojitě klesá. U některých pak kovů při dalším snižování klesne tento odpor na hodnotu tak malou, že ji již nelze měřit. Tento stav kovů nazval Kamerlingh Onnes supravodivým.

Soubornou přednášku o tomto stavu kovů měl v Leidenu dne 13. února r. 1919 C. A. Crommelin. Její německý překlad vyšel ve *Phys. ZS.*, sv. 21. r. 1920.

Je-li  $R_0$  odpor rtuťi při  $0^{\circ}$  C, tu  $R_s$  odpor rtuťi ve stavu supravodivém, který přesně nelze měřit, je tak malý, že bylo stanoveno

$$\frac{R_s}{R_0} < 2 \cdot 10^{-10}.$$



Nyní je otázka: Je vskutku odpor kovů v supravodivém stavu rovný přesně nulle, anebo přes to, že je neměřitelný, zůstává konečným a Ohmův zákon je i v supravodivém stavu splněn? Ačkoli tato otázka není dodnes s určitostí zodpověděna, přece byla učiněna celá řada pokusů, které supravodivý stav kovů poněkud objasňují.

Když prochází elektrický proud rtuťovým drátem při teplotě, při které rtuť je supravodičem, tu nesmí hustota tohoto proudu překročit jistou hranici, zvanou »mez ní hodnota« proudu, neboť nad touto hranicí přestává býti vodič supravodičem. Tato mezní hodnota je u některých kovů až *1200 Ampère* na *mm<sup>2</sup>*. Příčinou toho je asi to, že elektrickým proudem se přece i v supravodiči vyvinuje teplo, sice velmi nepatrné, postačitelé však k tomu, aby supravodič oteplilo nad teplotu supravodivosti. Jedná-li se zde o obyčejné Jouleovo teplo, které pochází od velmi malého, přece však konečného odporu Ohmova v supravodivém stavu, anebo zda-li Jouleovo teplo pochází od nečistot a nehomogenosti drátu, nemohlo býti dosud s určitostí rozhodnuto. Tento malý odpor nazývá Kamerlingh Onnes »mikroresiduálním odporem«.

Supravodivou stává se rtuť při absolutní teplotě *4.15*, cín při *3.78*, olovo asi při *6* (při tom oba isotopy olova, jak ukázal Kamerlingh Onnes, totiž *RaG* a *Pb* se liší o *0.025*), thalium při *2.3*. Železo, kadmium, zlato a měď ani při nejnižších dosud dosažených teplotách nejeví supravodivosti. Naproti tomu rtuť velmi znečištěná zlatem a kadmíem, jeví supravodivost. Zajímavý je také vliv magnetického pole na supravodivost. Supravodič totiž v magnetickém poli určité intenzity ztrácí supravodivost. Jelikož každý elektrický proud vytváří magnetické pole, může mít mezní hodnota proudu původ v působení magnetického proudu, procházejícího supravodičem na samotný supravodič.

### 3. Elektrická vodivost slitin.

Ačkoli měření vodivosti slitin dějí se již velmi dlouhou dobu, zvláště Matthiessen v letech *1857—1863* konal velmi mnoho přesných měření, přece nebylo dosaženo souvislých vědomostí o tomto předmětu dříve, až byla rozřešena otázka o konstituci slitin vůbec. To stalo se teprve asi před třiceti lety zkoumáním křivky bodu tání slitin a mikroskopickým výzkumem slitin.

Slitiny dvou kovů (binární), na které se omezíme, dělíme takto:

1. Na slitiny sestávající z konglomerátů krystalů obou kovů (komponent). Do této třídy patří slitiny těchto kovů: *Pb*, *Sn*, *Cd*, *Zn*.
2. Oba kovy (komponenty slitiny) jsou v pevném stavu buď v každém poměru, anebo jen částečně mísitelný. Slitina tvoří jedinou fázi. Sem patří slitiny těchto kovů: *Bi*, *Sb*, *Pt*, *Pd*, *Fe*, *Al*, *Na*, *Cu*, *Ag*, *Th*.

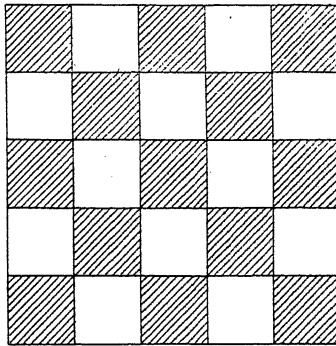
3. Obě složky mohou tvořiti navzájem více sloučenin. Sloučeniny tyto mohou se zase navzájem, anebo se svými složkami, mísiti.

4. Obě složky, anebo jen jedna vyskytuje se ve více modifikacích. Zde jsou poměry velmi komplikované.

V dalším budeme mluvit pouze o slitinách označených 1. a 2. Měření Le Chatelier a Guertler<sup>12)</sup> ukázali, že vodivost  $K$  slitiny prvního řádu je dána vztahem

$$K = K_1 \frac{v_1}{v_1 + v_2} + K_2 \frac{v_2}{v_1 + v_2}$$

kde  $K_1$  a  $K_2$  jsou vodivosti obou složek, ze kterých se slitina skládá. Pozdější měření však ukázala, že toto pravidlo platí jen přibližně. To je pochopitelné z této jednoduché úvahy.



Obr. 1.

Smísíme stejná objemová množství dvou kovů. Krystalky obou kovů necht' jsou stejně veliké. Mysleme si pak, že všechny krystalky ve slitině jsou úplně pravidelně uspořádány, takže každý krystalek jednoho kovu hraničí na šest krystalků druhého kovu. Průřez takovou slitinou podává vedlejší obraz 1.

Výše uvedený vztah by byl splněn pouze v případě, že proudočáry jsou přímky. Avšak tomu tak není, neboť krystalky lépe vodivé do sebe jaksi vtahují proudokřivky, takže jejich průběh je znázorněn schematicky obrazem 2. Po stránce přesně matematické je řešení tohoto zjevu velmi komplikované.<sup>13)</sup>

<sup>12)</sup> Le Chatelier, *Revue générale des Sciences* 6, 531 (1895). Guertler, *Jahrbuch der Radioaktivität* 5, 17 (1908).

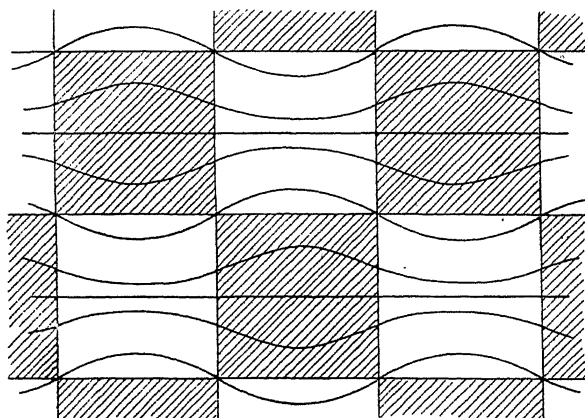
<sup>13)</sup> Viz Lichtenecker, *Phys. ZS.* 19, 374 (1918), a *Phys. ZS.* 10, 1005 (1909). Benedicks, *Jahrbuch der Radioaktivität* 13, 351 (1916). Burger, *Phys. ZS.* 20, 73 (1919).

Nyní obrátíme se ke slitinám druhého druhu, čili ke slitinám se vzájemně rozpustnými složkami. Tyto slitiny jsou nejdůležitější, nejzajímavější a zároveň nejobtívanější.

V případě, kdy jeden kov ve slitině je ve velmi malém množství, platí velmi často (ne však vždy) tato věta:

Equivalentní množství různých kovů, rozpuštěných ve velmi malém množství v jiném kovu, zmenšují stejně vodivost. (Viz Kurnakow<sup>14)</sup> a Benedicks.<sup>15)</sup>

Mimo to Kurnakow a Žemcžužný<sup>16)</sup> ukázali, že je úzká souvislost mezi elektrickou vodivostí a elasticitou slitin. Stanovili tato tři pravidla:



Obr. 2.

1. Tvoření pevných roztoků je provázeno zvětšením tvrdosti.
2. Změna tvrdosti nepřetržité řady roztoků typu

$$A B^{0-\infty}$$

dá se vyjádřiti spojitou funkcí, která má zcela určité maximum.

3. Tomuto maximu odpovídá minimum elektrické vodivosti.

K tomu ještě připojuji, že slitiny mají průměrně větší Poissonův koeficient než kovy čisté.

Zajímavé je též působení teploty na vodivost u těchto slitin. Zde Matthiessen<sup>17)</sup> našel toto pravidlo:

Budiž  $P$  poměrné zvětšení vodivosti  $K$  mezi  $0^\circ \text{C}$  a  $100^\circ \text{C}$ , tedy

$$P = \frac{K_0 - K_{100}}{K_0},$$

<sup>14)</sup> Kurnakow a Žemcžužný, ZS. für anorg. Chemie, 60, 1 (1908).

<sup>15)</sup> Benedicks, ZS für phys. Chemie 40, 545 (1902).

<sup>16)</sup> Kurnakow, ZS für anorgan. Chemie, 64, 156 (1909).

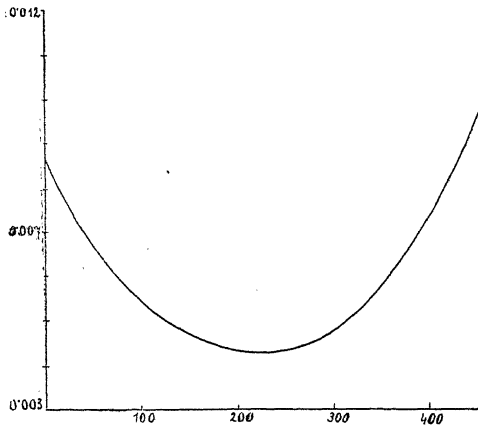
<sup>17)</sup> Matthiessen. Pogg. Ann. 122, 19 (1864).

dále buďtež  $P_m$  a  $K_m$  vypočtené hodnoty  $P$  a  $K$  dle mísicích poměrů objemů. Pak mezi naměřenými hodnotami  $P$  a  $K$  platí vztah

$$\frac{P}{P_m} = \frac{K}{K_m}$$

Správnost tohoto pravidla zkoušel Guertler. Výjimku od tohoto pravidla činí ferromagnetické kovy, jakož i jejich slitiny. Uvedený zákon možno psáti také ve tvaru

$$K = \frac{K_m}{P_m} P.$$



Obr. 3.

Podobný zákon odvodil z experimentálního materiálu Barus<sup>18)</sup> ve tvaru

$$K = AP + B,$$

kde však  $B$  je velmi malá hodnota. Při tom  $A$  a  $B$  jsou konstanty pro každou dvojici kovů různé.

#### 4. Závislost vodivosti špatných vodičů na teplotě.

Složitá je závislost vodivosti na teplotě u špatných vodičů, metalloidů, a zvláště pak u sloučenin kovů. Teploturní koeficient odporu těchto látek je vždy menší než teploturní koeficient čistých kovů, dokonce někdy je i záporný. Tak na př. magnetit  $Fe_3O_4$  vykazuje závislost odporu na teplotě, jak naznačeno na obr. 3. Minimum odporu této látky leží asi při  $220^\circ C$ . Koenigs-

<sup>18)</sup> Barus, Amer. Journal of Science, 36, 427 (1888).

berger<sup>19)</sup> pozorováním celé řady látek zjistil, že takový průběh odporu je zcela obecný, že však často minimum odporu leží tak nízko nebo vysoko, že ho nelze zjistiti. K tomu se v části theoretické ještě vrátíme.

### 5. Vodivost tepelná kovů a slitin.

Kovy a jich slitiny mají nepoměrně větší vodivost tepelnou než izolátory. O poměru vodivosti tepelné ku vodivosti elektrické jsme se již zmínili v úvodě a podrobněji se k tomu vrátíme ještě ve zvláštní kapitole.

Vliv teploty na tepelnou vodivost kovů je různý. Většina kovů má záporný temperaturní koeficient vodivosti tepelné. Avšak je také dosti kovů (*Al, Cu, Pd, Pt*) s kladným koeficientem. Slitiny pak mají vesměs kladný koeficient. Velikost tohoto koeficientu je u kovů řádově asi desetkrát menší než je velikost temperaturního koeficientu vodivosti elektrické. Slitiny mají tento koeficient poněkud větší.

### 6. Poměr vodivosti tepelné ku vodivosti elektrické u kovů a slitin.

Jak jsme se již v úvodě zmínili, je mezi vodivostí tepelnou  $k$  a elektrickou  $K$  velmi jednoduchý vztah, vyjádřený tam uvedenými zákony, totiž zákonem Wiedemann-Franzovým a Lorenzovým. Tyto dva zákony lze psáti ve tvaru

$$\frac{k}{K} = C \cdot T$$

kde  $T$  značí absolutní teplotu,  $C$  pak konstantu nezávislou na povaze kovu. Pokud tento zákon je splněn, ukazuje tato tabulka, kde v prvním sloupci je pojmenování kovu, v druhém poměr vodivosti při  $18^{\circ} C$ , v třetím pak temperaturní koeficient tohoto poměru. Tyto hodnoty naměřili Jaeger a Diesselhorst.<sup>20)</sup> Při tom  $k$  je v absolutních jednotkách,  $K$  pak v absolutních jednotkách elektromag.

Al	99%	$6.36 \times 10^{10}$	0.00437
Co		$6.71 \times 10^{10}$	0.00395
Ag		$6.86 \times 10^{10}$	0.00377
Au		$7.09 \times 10^{10}$	0.00709
Ni	97%	$6.99 \times 10^{10}$	0.00393
Zn		$6.72 \times 10^{10}$	0.00385
Cd		$7.06 \times 10^{10}$	0.00373

<sup>19)</sup> Jaeger a Diesselhorst, Abhandlungen Phys.-Techn. Reichsanst. 3, 382, 1900.

<sup>20)</sup> Koenigsberger, Ann. der Phys. 32, 179 (1910).

Pb	$7.15 \times 10^{10}$	0.00407
Sn	$7.35 \times 10^{10}$	0.0034
Pt	$7.53 \times 10^{10}$	0.00464
Pd	$7.54 \times 10^{10}$	0.00469
Fe (0.1% C)	$8.02 \times 10^{10}$	0.00432
Bi	$9.64 \times 10^{10}$	0.00151
Červená litina	$7.57 \times 10^{10}$	0.00346
Konstantan	$11.06 \times 10^{10}$	0.00239
Manganin	$9.14 \times 10^{10}$	0.00274
Mg	$6.45 \times 10^{10}$	
Sb	$8.40 \times 10^{10}$	
Hg (při 0° C)	$9.93 \times 10^{10}$	
Wo	$7.85 \times 10^{10}$	

Z uvedené tabulky je patrné, že u čistých kovů až na *Bi* a *Hg* je poměr vodivosti vskutku dosti stálý. Jich průměr (až na *Bi*), je

$$7.11 \times 10^{10}.$$

U slitin naproti tomu je poměr vodivosti značně větší. K příčině tohoto úkazu se ještě v části theoretické vrátíme.

Dle zákona Lorenzova má býti poměr  $\frac{k}{KT}$  u všech kovů za všech teplot týž. Avšak za velmi nízkých teplot jsou značné odchylky od tohoto zákona, jak patrné z přiložené tabulky pro výraz  $\frac{k}{kT} \cdot 10^{-8}$ , který měřil Meissner.<sup>21)</sup>

$T =$	20.3°	90.1°	273.1°	291.1°	373.1°
Cu I.	0.35	11.57	2.23	2.25	2.33
Cu II.	1.5	1.58	2.24	2.26	2.34
Au	1.02	2.00	2.35	2.36	2.40
Pt	1.08	2.03	2.51	2.53	2.60
Pb	1.41	2.38	2.47	2.49	2.56

Závislost tohoto poměru na teplotě je dosti podobná závislosti specifického tepla na teplotě. U mnohých slitin je tomu však právě naopak, u nich vzrůstá tento poměr s ubývající teplotou. Zcela podobně chová se vizmut a antimon, jak patrné z této tabulky pro poměr  $\frac{k}{kT} \cdot 10^{-8}$ .

$t =$	— 190° C	— 77° C	0° C	100° C
Bi	12.87	4.60	4.06	4.22
Sb	7.11	4.64	4.39	4.21.

<sup>21)</sup> Meissner, Ann. der Phys., 47, 1001 (1915).

Chování vizmutu vysvětlil Teige<sup>23)</sup> takto:

Velikost poměru vodivosti vizmutu, jakož i malý temperaturní koeficient tohoto poměru, nasvědčují tomu, že se nejedná o čistý kov, nýbrž o slitinu dvou modifikací. První modifikace má větší počet elektronů a se stoupající teplotou přechází v modifikaci chudší na elektrony. Vskutku také Würschmidt a Moesveld<sup>24)</sup> zjistili dvě modifikace vizmutu. (Pokračování.)

## VĚSTNÍK LITERÁRNÍ.

### RECENSE KNIH.

Bohuslav Hostinský: **Einsteinovy přednášky o teorii relativity z r. 1921.** V květnu 1921 konal A. Einstein na princetonské universitě čtyři přednášky o teorii relativity, které pak vydal tiskem (Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie, Braunschweig, Vieweg, 1922; 70 stran).\*)

Přes to, že tato nová knížka nepřináší, aspoň ve hlavních věcech, podstatně nových výsledků, je pozoruhodná tím, že důkazy některých vět, zde podané, dosti se liší od důkazů dříve užívaných a to tak, že se můžeme právě z nové jich úpravy dobře poučiti o rozmanitých zvláštlostech relativistických teorií.

Vzhledem k tomu pak, že zájem o tyto teorie je značně rozšířen, rozhodl jsem se referovati o knížce Einsteinově obšírněji než se obyčejně o nových spisech v tomto časopise referuje a vyložití při té příležitosti svoje názory o principu relativity.

První přednáška pojednává o prostoru a o času v předrelativistické fysice (str. 1.—15.), druhá o speciální teorii relativity (str. 16.—35.), třetí (str. 36.—50.) a čtvrtá (str. 51.—70.) pak o obecné teorii relativity. V první části tohoto článku uvedu postupně obsah jednotlivých přednášek, při čemž budu se držeti pokud možno doslova Einsteinova textu, ve druhé části pak připojím svoje poznámky.

#### I.

Poněvadž teorie relativity nejméně souvisí s teorií času a prostoru, je vhodné začít stručnou úvahou o původu našich představ o času a o prostoru. Zážitky (Erlebnisse), které nějaký člověk má, jeví se mu srovnány do řady. Bezprostředním názorem rozlišujeme to, co bylo dříve, od toho, co bylo později; k přesnějšímu rozlišení užíváme hodin. Hodinami nazýváme věc, která dává spočítatelné zážitky (abzählbare Ergebnisse liefert), která je tělesem nebo soustavou těles a k jejíž podstatě náleží, že řady zážitků nebo dílčích zjevů (Teilvorgänge) na ni čítané mohou býti považovány za stejné (str. 1.—2.). Fysikové musejí však snést pojmy času a prostoru s apriorického Olympu (Olymp des Apriori), kam je filosofové zanesli, opravit je a uvést je do stavu takového, aby se jich k něčemu dalo užít. Pokud se týče úsudků o prostoru, zdá se, že Poincaré ve své knize „La science et l'hypothèse“ zvláště jasně pravdu zachytil. Základem geometrie jsou věty o shodnosti obrazců; těmito

<sup>23)</sup> Teige, Rozpravy č. Akad., 27, čís. 26 (1919).

<sup>24)</sup> Würschmidt a Moesveld, Zeit. für phys. Chemie, 85, 419 (1913).

\*) Vzhledem k zásadní důležitosti věci věnováno výjimkou více místa, než obvykle, recenzi cizojazyčné knihy.