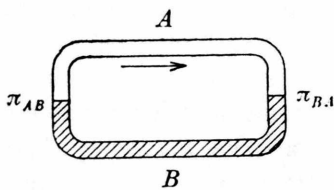
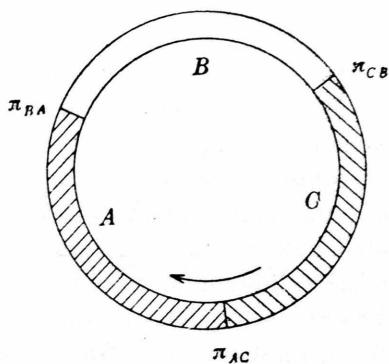


nému potenciálu. Tento potenciál neprejaví sa ešte rozstúpením lístkov elektrometra. Aby sme sa presvedčili, že medzi doskami C a B potenciálový rozdiel skutočne jestvuje, dosku B pomocou jej rúčky A odstránime. Tým sa kapacita sústavy vodičov C vzhľadom na jej okolie podstatne zmenší, a preto sa jej potenciál zväčší natoľko, že sa prejaví rozstúpením lístkov dostatočne citlivého elektroskopu alebo elektrometra.

3.2. Termočlánky. Keď z dvoch kovov pri určitej teplote, ktorá aj vnútri kovov je všade rovnaká, zostavíme elektrický okruh (obr. 3.2), je bezprostredne zrejmé, že v okruhu pôsobiaca celková elektromotorická sila sa bude rovnať nule, lebo $\pi_{AB} + \pi_{BA} = \pi_{AB} - \pi_{AB} = 0$. Avšak aj elektromotorické sily pôsobiace v okruhoch, ktoré sa skladajú z väčšieho počtu kovov alebo aj nekovov, keď teplota je v nich všade rovnaká, sa rovnajú nule, lebo každý takýto okruh možno považovať za vytvorený uzavretím otvoreného radu stykajúcich sa telies s totožnými koncovými členmi. Napríklad okruh na obr. 3.3 mohol vzniknúť uzavretím otvoreného radu kovov $BACB$.



Obr. 3.2.



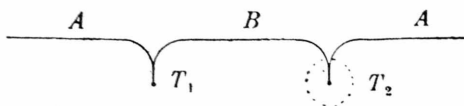
Obr. 3.3.

Vodiče, z ktorých pri zvolenej teplote *nemožno* zostaviť okruh s nenulovou celkovou elektromotorickou silou, nazývajú sa *vodiče 1. triedy*. Keď by sme však v okruhu znázornenom na obr. 3.3 za teleso A zvolili meď, za teleso B zinok a za teleso C vodný roztok kyseliny sírovej, mali by sme *Voltov galvanický článok*, ktorého celková elektromotorická sila je asi 1 volt. Vodiče — v našom prípade vodný roztok kyseliny sírovej — z ktorých samotných alebo v kombinácii s vodičmi 1. triedy *možno* zostaviť okruh s nenulovou celkovou elektromotorickou silou, nazývajú sa *vodiče 2. triedy*. Takými sú všetky roztoky kyselín, zásad a rozličných solí.

Kontaktné potenciály, sú však závislé od teploty. Preto aj zo samých vodičov 1. triedy možno vytvoriť okruh, v ktorom sa elektromotorická sila nerovná nule, tak, že aspoň dve stykové miesta sa udržiajú pri nerovnakých teplotách.

Takto vznikajúca ems sa nazýva *termoelektrická* sila a okruh *termočlánok* alebo *termoelement*.

Najjednoduchší termočlánok sa skladá z dvoch kovov, ktorých obidve stykové miesta sa udržiavajú pri rôznych teplotách. Otvorený termočlánok zostavený z dvoch kovov je schematicky znázornený na *obr. 3.4*. Jeho ems sa rovná rozdielu potenciálov jeho voľných koncov, ktoré sú z toho istého kovu.



Obr. 3.4.

Vznik elektrického prúdu po uzavretí okruhu termočlánku nie je v rozpore so zákonom o zachovaní energie, t. j. s prvou vetou termodynamickou, lebo je tu možnosť, aby článok svojím stykovým miestom s vyš-

šou teplotou od svojho okolia absorboval teplo, ktorého len časť sa v stykovom mieste s nižšou teplotou vracia okoliu. Pomocou termočlánku možno teda prenášať teplo z telesa s vyššou teplotou na teleso s teplotou nižšou, čo podľa druhej vety termodynamickej môže byť využité na konanie práce, t. j. na premenu tepelnej energie na energiu inej formy.

Predstavme si, že v termočlánku znázornenom na *obr. 3.4* po jeho uzavretí, ak je $T_1 > T_2$, prechádza prúd vo vodiči *B* napríklad sprava doľava. Z práve povedaného vyplýva, že keď obidve stykové miesta termočlánku majú najprv rovnakú teplotu a v okruhu termočlánku vytvoríme elektrický prúd predošlého smeru pomocou vonkajšej elektromotorickej sily, ľavé stykové miesto sa bude ochladzovať a pravé ohrievať, lebo na tom nezáleží, či elektrický prúd prechádza stykovým miestom vplyvom vlastnej termoelektrickej sily článku alebo vplyvom vonkajšieho zdroja prúdu. Jav sa nazýva *Peltierov*; objavil ho na styku bizmutu a olova francúzsky fyzik J. Peltier r. 1834. Peltierov jav sa v posledných rokoch používa na konštrukciu *elektrických chladničiek*, pričom však kovy sú nahradené polovodičmi.

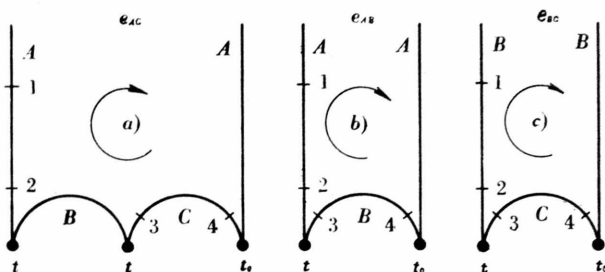
Termoelektrickú silu objavil nemecký fyzik T. Seebeck už r. 1821 na dvojici kovov Sb a Bi a neskoršie zistil, že kovy možno zostaviť do radu napríklad



podľa tej vlastnosti, že v termočlánku vytvorenom z ktorýchkoľvek dvoch z týchto kovov v stykovom mieste s vyššou teplotou ide prúd v smere od kovu, ktorý je v rade viac vpravo, ku kovu, ktorý je v rade pred ním.

Práve tak, ako pre kontaktné potenciály, platí aj pre termoelektrické sily súčtové pravidlo: Pri rovnakých teplotách t a t_0 stykových miest termoelektrická sila článku zhotoveného z vodičov *A* a *C* rovná sa súčtu termoelektrických síl článkov zhotovených z vodičov *A* a *B* a z vodičov *B* a *C*. Presvedčíme sa o tom touto úvahou:

Termoelektrická sila termočlánku na obr. 3.5a pri zvolenom a na obrázku vyznačenom obiehaní jeho okruhu rovná sa dráhovému integrálu intenzity elektrického poľa vo vodičoch termočlánku, počítanému od jeho ľavého koncového bodu až po pravý koncový bod. K tomuto integrálu prispievajú kontaktné potenciály na styku vždy dvoch rozličných vodičov, ale — podľa teoretických úvah a experimentálnych poznatkov — aj tie úseky homogénnych vodičov, v ktorých gradient teploty nerovná sa nule. Pretože v termočlánku na obr. 3.5a vodič B má všade rovnakú teplotu, jeho termoelektrická sila je totožná s termoelektrickou silou článku zhotoveného len z vodičov A a C .



Obr. 3.5.

Teda

$$e_{AC} = E_{12}^A + \pi_{AB}^t + \pi_{BC}^t + E_{34}^C + \pi_{CA}^0$$

kde napríklad $E_{12}^A = \int_1^2 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$ vo vodiči A a π_{CA}^0 kontaktný potenciál na styku vodičov C a A pri teplote t_0 . Podobne je

$$e_{AB} = E_{12}^A + \pi_{AB}^t + E_{34}^B + \pi_{BA}^0$$

$$e_{BC} = E_{12}^B + \pi_{BC}^t + E_{34}^C + \pi_{CB}^0$$

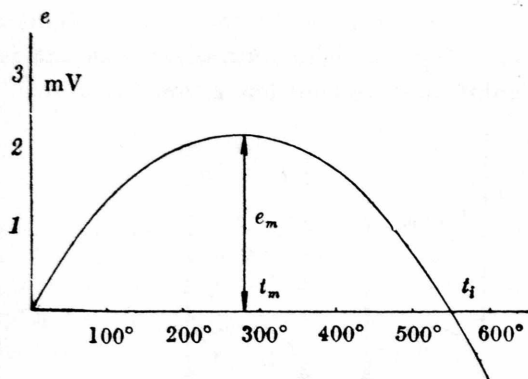
Sčítaním posledných dvoch rovníc vychádza

$$\begin{aligned} e_{AB} + e_{BC} &= E_{12}^A + \pi_{AB}^t + \pi_{BA}^0 + \pi_{BC}^t + E_{34}^C + \pi_{CB}^0 = \\ &= E_{12}^A + \pi_{AB}^t + \pi_{BC}^t + \pi_{CA}^0 + \pi_{BC}^t + E_{34}^C + \pi_{CB}^0 = e_{AC} \end{aligned}$$

lebo E_{34}^B v článku 2,5b a E_{12}^B v článku 2.5c dávajú nulový súčet a $\pi_{BA}^0 = \pi_{BC}^0 + \pi_{CA}^0$.

Závislosť elektromotorickej sily termočlánku od teploty jedného jeho stykového miesta, keď teplota druhého stykového miesta je konštantná, napríklad rovná 0°C , pre niektoré termočlánky dostatočne dobre vyjadruje kvadratická funkcia $e = \alpha t + \beta t^2$. Takéto termočlánky vyznačujú sa preto teplotou t_m , určenou rovnicou $e' = \frac{de}{dt} = \alpha + 2\beta t_m = 0$, teda $t_m = -\frac{\alpha}{2\beta}$, pri ktorej

elektromotorická sila termočlánku je najväčšia alebo najmenšia, a teplotou inverznou t_i , určenou rovnicou $\alpha + \beta t_i = 0$, teda $t_i = -\alpha/\beta$, pri ktorej sa termoelektrická sila článku rovná nule (napriek tomu, že sa t nerovná nule) a mení svoje znamienko. Závislosť termoelektrickej sily dvojice Fe—Cu od teploty je znázornená na obr. 3.6. Termoelektrické konštanty α a β niektorých kovov vzhľadom na meď v mikrovoltoch sú uvedené v tab. 3.2.



Obr. 3.6.

Tabuľka 3.2

**Termoelektrické konštanty
niektorých kovov vzhľadom na meď**

Kov	$\alpha \cdot 10^6$	$\beta \cdot 10^6$
Železo	13,403	-0,0275
Molybdén	3,115	-0,0337
Zinok	0,270	-0,0196
Zlato	0,122	-0,0004
Striebro	-0,211	-0,0011
Cín	-2,547	-0,0110
Olovo	-2,777	-0,0097
Hliník	-3,193	-0,0095
Platina	-5,869	-0,0064
Paládium	-8,273	-0,0449
Nikel	-20,390	-0,0453

viac rovnakých termočlánkov zapojených do série, aby výsledná termoelektrická sila bola čo najväčšia.

Na ukončenie tohoto článku odvodíme ešte vzorec vyjadrujúci teplo vznikajúce na styku dvoch vodičov Peltierovým javom. Podľa druhej vety termodynamikkej v termočlánku znázornenom na obr. 3.4 teplo Q_1 odoberané okoliu pri teplote T_1 a teplo Q_2 odovzdávané okoliu pri teplote T_2 spĺňujú rovnicu

ktorých kovov vzhľadom na meď v mikrovoltoch sú uvedené v tab. 3.2.

V praxi sa termočlánky používajú na meranie veľmi vysokých teplôt, ako aj na meranie malých rozdielov teplôt, v poslednom prípade hlavne vtedy, keď zariadenie použité na meranie má mať čo najmenšiu tepelnú kapacitu. Termočlánky možno totiž zhotovovať aj z veľmi tenkých drôtov. Nepriamo sa termočlánky používajú na meranie intenzít striedavých prúdov, najmä vysokej frekvencie, a to tak, že sa meraným prúdom ohrieva jedno stykové miesto termočlánku. Na takéto a podobné účely sa používajú *vákuové termočlánky*, aby súčasné ochladzovanie stykového miesta s vyššou teplotou v dôsledku odvádzania tepla do okolia bolo čo najmenšie. Termočlánky sa používajú aj na meranie intenzity svetelného žiarenia v podobe tzv. *termostĺpov*, v ktorých je

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$$

Ak článok dodával spotrebiču prúd J pri napätí e po čas t , vykonal prácu $Q_1 - Q_2 = eJt$. Teda

$$Q_2 = \frac{T_2}{T_1 - T_2} eJt$$

V prípade, že rozdiel teplôt T_1 a T_2 je malý, podiel $e/(T_1 - T_2)$ môžeme nahradiť tzv. *diferenciálnou termosilou* $e' = de/dT$. Tým pre Peltierove teplo dostávame

$$Q = e'TJt = \pi Jt$$

keď sme indexy „2“ vo vzťahu už vynechali. Veličina $\pi = e'T$ menuje sa *Peltierov koeficient*.

3.3. Vedenie elektrického prúdu v roztokoch. Väčšina čistých kvapalín vedie elektrický prúd veľmi zle. Napríklad dokonale čistá voda, petrolej alebo bezvodá kyselina sírová sú veľmi zlými vodičmi elektriny. Avšak roztoky solí, kyselín a zásad vo vode a v niektorých iných kvapalinách (napríklad v kvapalnom amoniaku) sú dobrými vodičmi elektrického prúdu. Stačí rozpustiť vo vode len veľmi málo kuchynskej soli (NaCl), alebo dať do nej niekoľko kvapiek kyseliny sírovej (H₂SO₄), aby vznikol vodný roztok s pomerne dobrou elektrickou vodivosťou.

Chemické zlúčeniny, ktorých roztoky sú elektricky vodivé, nazývajú sa *elektrolytmi*. Roztoky elektrolytov sa okrem svojej elektrickej vodivosti vyznačujú aj tým, že vykazujú väčší ozmotický tlak, väčšie zníženie napätia nasýtených pár rozpúšťadla, väčšie zvýšenie bodu varu a väčšie zníženie bodu mrazu, než to vyplýva podľa ich koncentrácie zo vzorcov, ktoré sme odvodili v termodynamike pre roztoky *neelektrolytov*, t. j. pre roztoky elektricky nevodivé. Toto správanie sa roztokov elektrolytov vysvetlil švédsky fyzikálny chemik Svante Arrhenius (1859—1927) predpokladom, že molekuly elektrolytov sú v ich elektricky vodivých roztokoch úplne alebo aspoň čiastočne rozštiepené (*disociované*) na útvary menšie, nesúce opačné elektrické náboje, na tzv. *ióny*, čím sa celkový počet „molekulárnych“ útvarov samostatne prítomných v objemovej jednotke roztoku zväčšuje.

Ióny s kladným elektrickým nábojom sa nazývajú *katióny*, ióny so záporným elektrickým nábojom *anióny*. Vo veľmi zriedených roztokoch sú molekuly každého elektrolytu úplne disociované, v koncentrovanejších roztokoch molekuly tzv. *slabých elektrolytov* sú disociované len čiastočne. *Stupeň elektrolytickej disociácie* α sa definuje ako podiel počtu molekúl rozložených a všetkých vo zvolenom objeme roztoku prítomných. Ako to z *Faradayových zákonov*