

## PO 111 LETECH: ELEKTRICKÁ SUPRAVODIVOST ZA (PRAKTICKY) POKOJOVÉ TEPLoty

ZDENĚK SLANINA

Tara centrum, Cukubská univerzita, Japonsko  
fromzdenek\_s@yahoo.com

**Klíčová slova:** elektrická supravodivost, supravodivé keramiky, C<sub>60</sub> dopované alkalickými kovy, supravodivé materiály na bázi H<sub>2</sub>S, Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926) – život a dílo

• <https://doi.org/10.54779/chl20220445>

Před 111 léty, přesněji 8. 4. 1911 ve čtyři odpoledne, holandský fyzik Heike Kamerlingh Onnes<sup>1</sup> zjistil, že při teplotě 4,2 K (tedy teplotě vroucího kapalného helia) se elektrický odpor rtuti stává nulovým. Tehdy byla i první pozorována supratekutost helia, leč nebyl tomu přikládán význam. Po několika měsících byla elektrická supravodivost (tehdy anglicky *superconductivity*, zatímco dnes se používá termín *superconductivity*) prokázána i pro olovo při teplotě kolem 6 K a pro cín při teplotě kolem 4 K. A již za rok 1913 byla Kamerlinghu Onnesovi udělena Nobelova cena za fyziku – za „výzkumy vlastností hmoty při nízkých teplotách, které mimo jiné vedly i k produkci kapalného helia“. Taková rychlá cesta od objevu k Nobelově ceně se pak zopakovala v osmdesátých letech, kdy výzkumníci IBM Georg Bednorz a Karl Alex Müller v roce 1986 připravili<sup>2</sup> materiál obsahující oxid mědi, lanthan a baryum, s nástupem supravodivosti při teplotě 35 K, za což jim pak připadla Nobelova cena za fyziku již za rok 1987. Tyto materiály na bázi oxidů mědi a obsahující další kovy se nazývají supravodivé keramiky – vzhledem ke své přípravě i vzhledu. K jejich popisu je třeba nejen složení, ale i teplotní režim, kterým byly připraveny. Tyto keramiky posunuly teplotu nástupu supravodivosti oproti tomu, co bylo známo u kovů a kovových slitin (jako slitina niobu a titanu vykazující supravodivost při 10 K). Speciálně přechod od lanthanu k yttriu zvýšil<sup>3</sup> teplotu nástupu supravodivosti na 93 K, tedy výše, než je normální bod varu kapalného dusíku (77 K). Takových supravodivých keramik je známa řada, dosaženo<sup>4</sup> tak bylo supravodivosti již při teplotě kolem 130 K. Jsou to ale křehké, lámavé materiály, což představuje problém pro přípravu technicky použitelné formy takových vodičů. Strukturně jednodušší jsou supravodivé fullerény dopované alkalickými kovy, které jsou vmezeřeny do krystalické mřížky C<sub>60</sub>. První systém tohoto typu byl oznámen<sup>5</sup> v roce 1991, šlo o K<sub>3</sub>C<sub>60</sub> vykazující supravodivost při 18 K. Supravodivost se hledá

i u metalofullerenů s atomy kovů uvnitř fullerenovými klecemi<sup>6</sup>.

Nedávno se však objevil zcela nový typ supravodivých materiálů. Už v roce 1935 předpověděl<sup>7</sup> Eugene Wigner a Hillard Bell Huntington, že za velmi vysokých tlaků by vodík měl přecházet do vodivé kovové formy. K tomu by mělo být potřeba tlaku 25 GPa. Obecněji se předpokládá, že kterýkoliv materiál by mohl při dostatečně vysokých tlacích přecházet na svou kovovou formu. Na tuto hypotézu o kovovém vodíku navázal v roce 1968 Neil Ashcroft<sup>8</sup>, který předpověděl, že kovový vodík by mohl být supravodivý, a to možná v blízkosti pokojové teploty. To otevřelo cestu k hledání supravodičů obsahujících i vodík. Nedávno se skutečně už objevily materiály obsahující vodík – s nástupem supravodivosti v blízkosti pokojové teploty. V roce 2015 vyšla práce z Ústavu Maxe Plancka pro chemii v Mohuči, která oznamovala supravodivost sulfanu (pro orientaci: normální bod tání 188 K, normální bod varu 214 K) při vystavení vysokým tlakům přes 100 GPa. Nejvyšší pozorovaná teplota nástupu supravodivosti činila<sup>9</sup> 203 K (při použití tlaku 155 GPa). Předpokládá se, že za těchto tlaků může docházet i k rozkladu sulfanu, spojenému se vznikem vyšších hydridů síry (jako trihydridu) a síry. Posléze v roce 2020 bylo zveřejněno<sup>10</sup>, že teplotu supravodivosti lze v podobném systému dále zvýšit na 288 K při použití tlaků 267 GPa. Jde o práci z univerzity v Rochesteru a v Las Vegas, která vycházela z práškové elementární síry a uhlíku vystavených ve vodíkové atmosféře s tlakem 4 GPa laserovému záření po několik hodin. Tak byl připraven transparentní materiál, na kterém byla měřena jeho supravodivost. Autoři věří, že postupným laděním složení této trojprvkové soustavy C-S-H by mohlo být dosaženo supravodivosti při pokojové teplotě i při nižších tlacích.

Takový robustní supravodivý materiál by nepochybně změnil transport i užívání elektrické energie, ale již dnes se dostupné supravodiče technicky vyžívají. Kovové supravodiče jako slitiny niobu s titanem či cínem, chlazené kapalným heliem, už slouží k dosažení vysokých intenzit magnetického pole v praktických aplikacích jako NMR spektroskopie či lékařská diagnostická technika MRI (Magnetic Resonance Imaging), nebo magnetické nádoby tokamak pro termojadernou fúzi v budoucích termojaderných elektrárnách. V mikroelektronice nachází užítí tzv. Josephsonův kontakt<sup>11</sup> tvořený dvěma supravodiči oddělenými tenkým nesupravodivým materiálem. Dnes ale nejznámějším využitím supravodivosti je magnetické vznášení nad terémem u rychlostních vlaků zvaných maglev (zkratka z magnetické levitace). Maglevy jsou někde už v provozním režimu, byť zatím na kratších tratích (rychlostní rekord maglevů činí<sup>12</sup> 603 km h<sup>-1</sup>).

## LITERATURA

1. van Delft D., Kes P.: *Phys. Today* 63, 38 (2010).
  2. Bednorz J. G., Müller K. A.: *Z. Phys. B.* 64, 189 (1986).
  3. Wu M. K., Ashburn J. R., Torng C. J., Hor P. H., Meng R. L., Gao L., Huang Z. J., Wang Y. Q., Chu C. W.: *Phys. Rev. Lett.* 58, 908 (1987).
  4. Schilling A., Cantoni M., Gue J. D., Ott H. R.: *Nature* 363, 56 (1993).
  5. Hebard A. F., Rosseinsky M. J., Haddon R. C., Murphy D. W., Glarum S. H., Palstra T. T. M., Ramirez A. P., Kortan A. R.: *Nature* 350, 600 (1991).
  6. Liu A., Nie M., Hao Y., Yang Y., Wang T., Slanina Z., Cong H., Feng L., Wang C., Uhlík F.: *Inorg. Chem.* 58, 4774 (2019).
  7. Wigner E., Huntington H. B.: *J. Chem. Phys.* 3, 764 (1935).
  8. Ashcroft N. W.: *Phys. Rev. Lett.* 21, 1748 (1968).
  9. Drozdov A. P., Eremets M. I., Troyan I. A., Ksenofontov V., Shylin S. I.: *Nature* 525, 73 (2015).
  10. Snider E., Dasenbrock-Gammon N., McBride R., Debessai M., Vindana H., Vencatasamy K., Lawler K. V., Salamat A., Dias R. P.: *Nature* 586, 373 (2020).
  11. Josephson B. D.: *Phys. Lett.* 1, 251 (1962).
  12. <https://zdenekslanina.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=619343>, staženo 5. 3. 2022.
- Keywords: electrical superconductivity, ceramic superconductors, alkali-doped C<sub>60</sub>, H<sub>2</sub>S based superconductive materials, life and work of Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926)
- Slanina Z.: *Chem. Listy* 116, 445–446 (2022).
  - <https://doi.org/10.54779/chl20220445>