

Úloha II.P ... rodičovská

5 bodů; (chybí statistiky)

Představte si, že za vámi přijde inteligentní sedmileté dítě a zeptá se: „A co je to ta supravodivost?“ Co všechno byste ho museli naučit a co vše mu postupně vysvětlit, abyste mu tento jev teoreticky mohli objasnit bez užití „líži dětem“¹ na odborné úrovni? Řešení zkuste rozpracovat co nejvíce.

Kiki doučovala a bez kuličkovitých elektronů se neobešla.

Sedmileté dítě tuší, že existuje elektřina (Nestrkej ruce do zásuvky!, Nesahej na ten ohradník!). Také si všimlo, že elektřina je potřeba třeba k tomu, aby svítila lampička, a vede k ní ze zásuvky nějakým kabelem. Už ale asi neví, co to ta elektřina je a jak tyhle věci dělá. Před výkladem supravodivosti bychom se měli dostat k pojmům jako jsou proud, vodič, odpor.

Látky se skládají z malých částic, kterým říkáme atomy. Velikost jednoduchých atomů je řádově $1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Atomy se dále skládají z dalších částí, malého ($1 \text{ fm} = 1 \cdot 10^{-15} \text{ m}$) jádra uprostřed a dalších částic, elektronů, které se pohybují kolem jádra a tvoří jeho obal. Jádro se skládá z protonů a neutronů. Existuje řada vlastností, kterými se tyto částice liší. Pro nás bude důležitý náboj. Protony mají kladný náboj, neutrony žádný, celkově je proto jádro kladné. Elektrony mají záporný náboj. Každý náboj kolem sebe vytváří elektrické pole, do kterého když dáme náboj opačný, je k němu přitahován, a když do něj dáme náboj stejný, je odpuzován. Elektrony jsou tedy k jádru přitahovány. Zároveň však nemají z kvantové mechaniky dovoleno přiblížit se k jádru příliš blízko, proto zůstávají v pohybu v dovolených místech v blízkosti jádra a tvoří tak stabilní systém. Dále se ještě hodí vědět, že další vlastností, kterou mohou částice mít, je spin – elektrony mohou mít spin $1/2$ nebo $-1/2$.

Atomy mohou být v látkách uspořádány různými způsoby a podle toho pak mají různé vlastnosti. V následujícím textu budeme mluvit o skupině látek, které se říká kovy. Ty mají atomy uspořádány do nějaké pravidelné struktury, říkáme, že tvoří krystaly. Na těchto strukturách je speciální to, že jsou pevně vázána pouze jádra atomů – všechny vodivostní elektrony, tedy ty, které atom uvolní na interakci, vytvoří tzv. elektronový plyn, který může v krystalu rychle přenášet náboj. Pokud bude na jednom místě krystalu více kladného náboje než na druhém konci (říkáme, že je mezi nimi napětí), bude se záporný náboj, jehož nosiči jsou elektrony, pohybovat směrem ke kladnému náboji. Když se látkou šíří náboj nějakým směrem, říkáme, že látka vede elektrický proud. Látkám, které vedou elektrický proud dobře, říkáme vodiče. Proud je tedy uspořádaný pohyb náboje v čase.

Elektrony pohybující se v krystalu pociťují elektrická pole kladných nábojů a jsou tímto polem brzděny. Pro každý kov je toto brzdění jiné; charakterizuje jej vlastnost, které říkáme odpor.

Sedmileté dítě se také už setkalo s teplotou – když se vaří voda, řekneme, že má $100 \text{ }^\circ\text{C}$, když zamrzá, má $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Nejnižší dosažitelná teplota je $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Ve fyzice se častěji používá jednotka Kelvin, K – jeden Kelvin má stejnou velikost jako jeden stupeň Celsia, avšak počátek stupnice je definovaný jako $0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Jádra atomů nejsou ve svých polohách napevno, spíše kolem nich kmitají, a to tím více, čím vyšší je teplota. Čím více kmitají, tím více brzdí pohyb elektrického proudu. Snížujeme-li tedy teplotu, odpor látky bude klesat.

Roku 1911, tedy před 104 lety, holandský fyzik Heike Kammerlingh Onnes dokázal pomocí tekutého helia zchladit látky na velmi nízkou teplotu, na 4 K, a začal zkoumat vlastnosti látek za velmi nízkých teplot. Měřil odpor různých kovů a u některých zjistil, že odpor klesá s teplotou až do jisté teploty, která se pohybuje mezi 1 K a 25 K, kdy odpor téměř skokově klesne na nulu.

¹Význam pojmu „líži dětem“ můžete najít v knížce Věda na Zeměploše; zjednodušeně se jedná o vysvětlení, které není úplně pravdivé, ale má pomoci danou věc alespoň zhruba pochopit, klasicky třeba představa atomů jako malinkatých, pevných kuliček

Látka přešla do zcela nového stavu, který označil za supravodivost. Za tyto objevy dostal Onnes v roce 1913 Nobelovu cenu.

K čemu je to dobré? Prochází-li vodičem elektrický proud, který vytváří proměnné elektrické pole (například pokud postupně zvětšujeme napětí), vytváří procesem elektromagnetické indukce také magnetické pole. Když látkou teče proud, tak se látka kvůli odporu zahřívá. Když je v supravodivém stavu, žádný odpor nemá, nezahřívá se a nic nebrání průchodu i velkých proudů, můžeme tak získat i silná a stálá magnetická pole. Magnet dítě zná, ví, že drží na ledniče. Permanentní magnet, tedy třeba ten na ledniče, má severní a jižní pól a vytváří kolem sebe magnetické pole. Když do tohoto pole vložíme další magnet, natočí se tak, aby severní pól směřoval k jižnímu a naopak.

Vysvětlit supravodivost se podařilo zatím u nízkoteplotních supravodičů I. druhu. Těmi jsou kovy, které v silných magnetických polích supravodivé vlastnosti zase ztrácí. Vysvětlení jevu spočívá v existenci tzv. Cooperových párů elektronů. Dva elektrony s opačnými spiny jsou k sobě přitahovány mechanismem podobným chemické vazbě prvků a chovají se dohromady jako boson, tj. jako částice s celočíselným spinem přenášející interakce (jako například foton přenášející světlo). Této teorii se říká BSC teorie podle fyziků Johna Bardeena, Leona Coopera a Johna Roberta Schriefferera, kteří jsou za tuto teorii spolunositeli Nobelovy ceny za rok 1972. Supravodivost u supravodičů II. druhu, materiálů obsahujících měď nebo nekovové složky, a které také ztrácí supravodivé vlastnosti při stokrát i vícekrát vyšších magnetických polích než supravodiče I. druhu, zatím čeká na vysvětlení.

Později byly objeveny vysokoteplotní supravodiče, materiály, u kterých se supravodivé vlastnosti projevují už u vyšších teplot, v průměru okolo 90 K. Této teploty lze dosáhnout pomocí mnohem levnějšího tekutého dusíku. S kapalným dusíkem se často ukazují pokusy týkající se supravodivosti. Typický vysokoteplotní supravodič je například z materiálu $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Pokud jej zchladíme tekutým dusíkem a roztočíme nad ním malý permanentní magnet, bude se nad ním vznášet. Tento efekt využívá Meissnerův-Ochsenfeldův jev: pokud supravodič vložíme do magnetického pole, tak supravodič všechno vnější magnetické pole vytěsňuje ze svého objemu pryč a odpuzuje jakékoliv další magnety. Supravodiče II. druhu, jako například $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, tento jev nevykazují úplně – zůstávají v nich kanálky, tzv. vortexy, kde magnetické pole zůstává. Tím může dojít k takovému rozložení magnetického pole, že další vložený magnet se bude vznášet nad supravodičem ve stabilní poloze. Pro větší stabilitu se hodí vložený magnet ještě roztočit.

Pro větší atraktivitu bychom mohli výklad zakončit takovými a podobnými pokusy s vysokoteplotními supravodiči a tekutým dusíkem a zbylý dusík použít na výrobu zmrzliny.

Domínika Kalasová
dominika@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.