
Předmluva

L. SKRBEK

Fyziku nízkých teplot jako vědní disciplínu obvykle datujeme od okamžiku prvního zkapalnění helia Heike Kamerlinghem-Onnesem v roce 1908. Po uplynutí sta let její existence dnes není možné jednoznačně vymezit, které problémy zahrnuje, ani jakou teplotou je svrchu omezena - uvidíme v textu, že stejná absolutní teplota může být pro jeden problém považována za velmi nízkou, kdežto pro jiný či dokonce stejný, ale v jiném systému, za velmi vysokou.

Tato publikace navazuje a doplňuje skripta se stejným názvem *Fyzika nízkých teplot* (editor RNDr. S. Šafrata, CSc.), která vyšla ve vydavatelství *Matfyzpress* v roce 1998 a po více než deset let úspěšně plnila a stále plní funkci vysokoškolské učebnice, avšak vědecký pokrok, nové významné objevy a rozvoj oboru obecně si řekly o jejich podstatnou inovaci. Autorský kolektiv byl vzhledem k širšímu záběru problematiky a k daleko většímu rozsahu textu částečně obměněn a rozšířen. Bylo proto z praktického hlediska nutné celý text rozdělit do dvou dílů, ačkoli oba díly patří organicky k sobě a jednotlivé kapitoly jsou vzájemně silně provázané.

Výběr témat následujících kapitol je v poměrně dobré shodě s problémovými okruhy programu mezinárodních světových konferencí nízkých teplot se zavedenou zkratkou LT. Ty jsou již tradičně pořádány každé tři roky a pravidelně mají kolem 1500 účastníků. Zatím poslední z nich, LT 25, se konala jako jubilejní u příležitosti kulatého výročí zkapalnění helia v Amsterdamu s exkurzí do Leidenu, kde první zkapalnění helia před sto lety proběhlo.

Název a náplň skript *Fyzika nízkých teplot* může vyvolat polemiku ohledně skladby jednotlivých kapitol. Fyziku nízkých teplot lze, podle mého názoru, chápat buď v užším nebo v širším smyslu. V užším smyslu fyzika nízkých teplot zahrnuje jen takové fyzikální jevy, které byly objeveny pouze díky ochlazení systému pod určitou kritickou teplotu, která byla cílevědomě dosažena v důsledku zdokonalování chladících metod. Typickými příklady takových jevů jsou Boseova - Einsteiнова kondenzace, supravodivost, supratekutost či spontánní uspořádání jaderných magnetických momentů. Tato kniha však představuje fyziku nízkých teplot v širším smyslu, neboť popisuje a diskutuje i řadu dalších fyzikálních jevů, které mohou při pokojové teplotě existovat a být pozorovatelné, ale při snížení teploty se projevují mnohem výrazněji a lze je snáze studovat. Se snižováním teploty daného systému je zpravidla nutné přejít od klasického fyzikálního popisu ke kvantovému, a to nejen na mikroskopických vzdálenostech, neboť jevy jako supratekutost či supravodivost lze chápat jako projevy kvantové mechaniky v makroskopickém měřítku.

Za sto let své existence se fyzika nízkých teplot ať už přímo či nepřímo podílela na významných fundamentálních experimentálních objevech a teoriích, které hrají nezastupitelnou roli v současném vědeckém světovém názoru. Svědčí o tom i dlouhý seznam Nobelových cen, udělených za tyto práce a objevy mnoha osobnostem světové fyziky jakými jsou Kamerlingh-Onnes, Bardeen, Cooper, Schrieffer

fer, Josephson, Giaever, Kapica, Landau, Osheroff, Richardson, Lee, von Klitzing, Bednorz, Müller, Abrikosov, Ginzburg, Leggett, Chu, Cohen-Tannoudji, Phillips, Cornell, Ketterle, Wieman či Nambu.

Podle obecně přijatého vědeckého světového názoru vznikl vesmír při velkém třesku a od té doby se rozpíná. Uvažujeme-li teplotu systému jako míru kinetické energie jeho konstituentů, byla v počátcích existence vesmíru obrovská, ale při jeho rozpínání se snižuje. V určité rané fázi jeho vývoje došlo ke vzniku záření, jehož pozůstatky, nazývané reliktní záření, můžeme i dnes na Zemi detekovat a odpovídá mu teplota kolem 2,7 K. Protože toto záření je všudypřítomné a doléhá k nám ze všech stran, má se za to, že ve vesmíru nižší teplota nemůže existovat. Dokonce lze vyslovit názor, že nalezení nějaké oblasti s nižší teplotou by byl přímý důkaz existence jiné civilizace (ponechme stranou, že k detekci tohoto faktu bychom zřejmě potřebovali, aby nízkoteplotní oblast byla galaktických rozměrů). Na Zemi v laboratoři a dnes již i na oběžné dráze však člověk dokáže dosáhnout mnohem nižších teplot. Současný teplotní rekord spinového systému jader rhodia (podrobně viz kapitolu o jaderném magnetizmu) je o neuvěřitelných osm řádů nižší. Fyzika nízkých teplot tak dokáže vytvořit podmínky, které (samozřejmě podle našich současných znalostí) nikde jinde než v nízkoteplotních laboratořích neexistují a běžně studuje jevy, které by nikde v přírodě nemohly nastat. Vesmír se ovšem dál rozpíná a v důsledku toho jeho teplota klesá, podle dostupných odhadů asi o 200 pK ročně. Fyzika nízkých teplot již dokázala pro teplotní úroveň jednotek kelvinů vyvinout teploměry s citlivostí desítek pikokelvinů, takže lze vážně uvažovat o experimentu, který by velmi přesným měřením teploty potvrdil hypotézu rozpínání vesmíru.

Kosmologie a fyzika nízkých teplot však spolu souvisejí mnohem úžeji, než by se mohlo na první pohled zdát. Ukázalo se, že vzhledem k podobnosti charakteru narušených symetrií a matematickému popisu chování některých kondenzovaných systémů, zejména supratekutého helia, je možné kosmologické procesy úspěšně laboratorně modelovat. Kibbleův - Zurkův mechanismus vzniku kvantovaných vírů v supratekutém heliu je toho dokladem. Proto jsme tomuto perspektivnímu problému věnovali celou kapitolu. Spojení fyziky elementárních částic - kvantové chromodynamiky a idejí fyziky nízkých teplot objasňujících supravodivost a supratekutost pak vyústilo do další netradiční kapitoly o supratekutosti barevných kvarků.

Stranou jsme nemohli nechat ani rychlý rozvoj v oblasti supravodivosti a jejích aplikací. Zde je odražen pokrok ve studiu nových supravodivých materiálů a vysokoteplotní supravodivosti, o níž víme díky cílevědomému výzkumu v mnoha laboratořích velmi mnoho, ačkoli její mechanismus stále není uspokojivě vysvětlen. Pozornost věnujeme i oblasti slabé supravodivosti a jejímu praktickému využití formou dosud nejcitlivějších detektorů - skvidů a uplatnění supravodivých struktur v horkém tématu naší doby - vývoji kvantového počítače.

K fantasticky rychlému rozvoji lidského poznání přispěly experimentální a teoretické studie systémů ultrachladných atomových plynů, ať již bosonových, fermionových nebo jejich směsí. Ani dnes již "klasické" heliové kvantové systémy nezůstávají pozadu - kromě kvantové difúze, vypařování či kavitace zejména nedávný experimentální objev neklasického momentu hybnosti pevného helia, tzv. supersolidity,

či nové výsledky v oboru kvantové turbulence a jejich dopad na pochopení otevřeného problému turbulence vazkých tekutin nemohly zůstat stranou pozornosti autorského kolektivu.

Text pak završují kapitoly o vlastnostech pevnolátkových systémů při nízkých teplotách. Duální charakter elektronů a dalších kvazičástic vede k dříve netušeným fyzikálním fenomenům jakými jsou Kondův jev, přechody kov-izolátor, lokalizace, Kapicův odpor, Aharonův-Bohmův jev či celočíselný a zlomkový Hallův jev.

K popsaným metám nízkoteplotní fyziky a k pochopení celé dlouhé řady jejích základních principů však vede dlouhá cesta. Ačkoli jsou následující kapitoly jejím pouhým začátkem, jde podle mého názoru o velmi seriózní pokus čtenáře na této cestě provázet a pokud možno rigorózně jej s poměrně rozsáhlým materiálem seznámit. Ačkoli chápu, že pro mnohé nebude následující text jednoduchý ani intelektuálně ani technicky, spolu se svými spoluautory věřím, že si své čtenáře najde.

Fyzika nízkých teplot má u nás velmi dobrou tradici a v bývalém Československu se začala rozvíjet v 50. letech minulého století. V roce 1956 v Ústavu jaderné fyziky Československé akademie věd založil RNDr. S. Šafrata Oddělení nízkých teplot. Od akademika P.L. Kapicy získal podklady ke stavbě zkapaňovače helia, na základě kterých byl vyroben kaskádový typ zkapaňovače s předchazováním kapalným dusíkem a kapalným vodíkem. Helium bylo v Československu poprvé zkapaňováno v Oddělení nízkých teplot v Řeži v noci ze 12. na 13. dubna roku 1960. Pro úplnost dodejme, že několik měsíců poté byl v Ústavu fyziky pevných látek v Cukrovarnické ulici v Praze uveden do provozu zkapaňovač helia firmy Linde.

O mezinárodní prestiži naší fyziky nízkých teplot svědčí i to, že pořadatelství mezinárodní konference nízkých teplot LT 21 a satelitu ultranízkých teplot ULT v roce 1996 bylo svěřeno Praze a Košicím.

Nízkoteplotní výzkum v Praze, Košicích, Bratislavě a Brně se vždy vzájemně doplňoval a je tedy jen přirozené, že tento text vznikl po vzájemné spolupráci českých a slovenských odborníků. Jsem také velmi rád, že učebnice je psaná oběma našimi jazyky autory, kteří mají k těmto pracovištím velmi blízký vztah. Podle mého názoru je nespornou předností, že téměř všechny jednotlivé části byly napsány specialisty, kteří se touto problematikou v praxi aktivně zabývají, vědecky publikují a jsou v ní mezinárodně uznávanými odborníky. Samotný fakt, že autorský kolektiv bylo takto možné sestavit, svědčí o dobré úrovni fyziky nízkých teplot v Česku a na Slovensku.

Chtěl bych touto cestou poděkovat všem spoluautorům za jejich příspěvky ke společnému dílu a RNDr. Michaele Král'ové, Ph.D., za neocenitelnou pomoc při technické editaci textu a obrázků. Dík patří i oběma recenzentům, zakladatelům fyziky nízkých teplot v bývalém Československu RNDr. S. Šafratovi, CSc. a prof. RNDr. M. Šottovi, CSc., za podnětné názory a připomínky.

Věřím, že skripta splní účel, pro který byla napsána a budou nejenom plnit funkci kvalitní vysokoškolské učebnice, ale stanou se i užitečným zdrojem informací pro fyziky a technické pracovníky v oboru kryogeniky.