

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Jaroslav Pačes

Nobelova cena za fyziku akademiku Petru Leonidovičovi Kapicovi

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 24 (1979), No. 5, 253--258

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137966>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1979

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>

rokoch neporovnateľne zaujímavejšie oproti predchádzajúcim ročníkom. Len aby ich ľudia aj čítali. Bolo by dobre, keby Matematické obzory mohli pravidelne vychádzať. Viete niečo o tom, či sa Obzory dostávajú aj do českých zemí? (A do vhodných rúk?)

14. *Akú úlohu by mala zohrať Jednota na Slovensku?*

Nevidím rozdiel oproti českým zemiám. Odpoveď je, pravda, triviálna. Vedenie Jednoty by malo byť vždy v rukách mladších ľudí nadšených pre dobrú vec. Aj keď niektoré z týchto pojmov sú relatívne.

15. *Môžete nám prezradiť vaše tajomstvo, ktoré vám umožňuje stále úspešne vedecky*

*pracovať aj pri tom veľkom počte funkcií a rôznych povinnosti?*

Nezdá sa vám, že tých otázok bolo až-až, a že je načase skončiť?

Skúsili ste tento recept? Každý deň sa naučiť aspoň jednu stranu nového textu alebo vypočítať aspoň jeden príklad. Za rok to bude 365 príkladov. Niektoré funkcie sa dajú vykonávať aj tak, že sa občas „ulejete“ a doma (kde vás najmenej predpokladajú, že sa môžete nachádzať) si opakujete sférickú trigonometriu.

*Ďakujeme vám, súdruh akademik, za rozhovor a želáme vám do ďalších rokov zdravie a tvorčie úspechy.*

*Zhovárali sa Tibor Katriňák  
a Štefan Znam.*

## Nobelova cena za fyziku akademiku Petru Leonidovičovi Kapicovi

*Jaroslav Pačes, Praha*

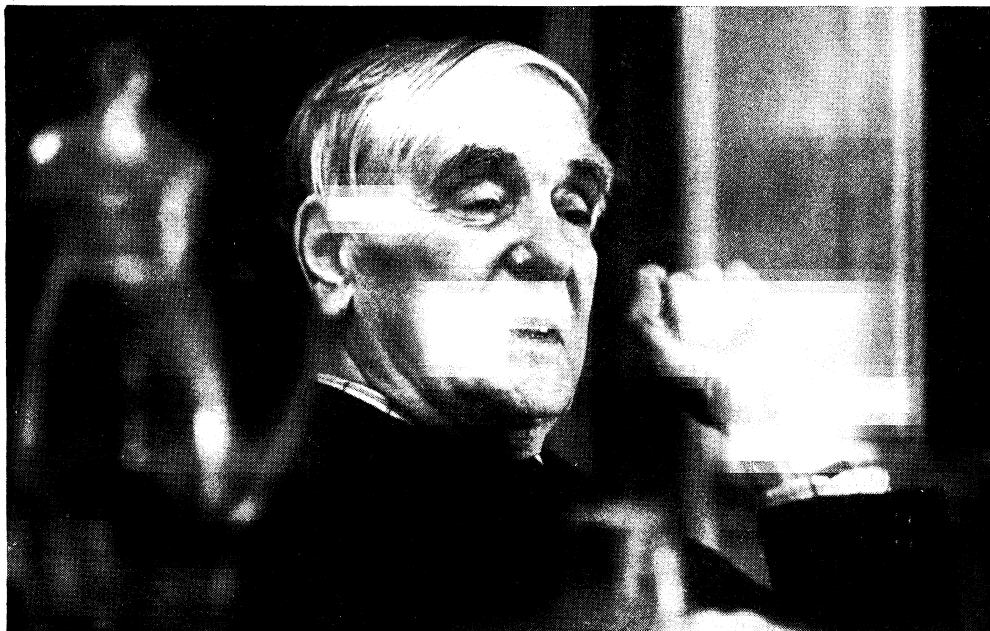
V Petrohrade žil malič, ktorý sa špecializoval na portrétovaní významných osobností. Jedného dne se u něho objevili dva studenti. Přišli s návrhem, že by měl někdy také namalovat někoho, kdo slavným teprve bude. Například oni, že zatím žádnými znamenitostmi nejsou, ale určitě budou. Malíř ocenil jejich troufalost a souhlasil. Během práce se mu ti dva sebevědomí mládenci tak zalíbili, že přerušil kresbu tužkou a namaloval je jak se patří olejem.

Tato historka probíhala možná trochu jinak, než jak se traduje, ale jisté je, že oba portrétovaní se stali vynikajícími vědci. Jednomu z nich, N. N. SEMJONOVU, byla udělena Nobelova cena za chemii v roce 1956 za teorii řetězových reakcí, druhý, PETR LEONIDOVICH KAPICA, získal Nobelovu cenu za fyziku v roce 1978 za své práce ve fyzice nízkých teplot. Rozpracovaný portrét tužkou studenta Kapici jsem viděl, když v roce 1974 slavil Petr Leonidovič své osmdesátiny. Tehdy byl v Pokrocích matematiky, fyziky a astronomie otištěn článek popisující nejvýznamnější objevy, které P. L. Kapica dosud ve vědě

učinil. Protože to není tak dávno (ročník XIX, str. 308), omezíme se nyní jenom na stručný výčet těch Kapicových výsledků, které otevíraly novou epochu ve vědě nebo technice.

- 1922 – spolu s N. N. SEMJONOVEM návrh na měření magnetického momentu atomu – nezávisle a současně se STERNEM a GERLACHEM
- 1924 – pulsní metoda na získávání velmi silných magnetických polí. Impuls velmi silného proudu ( $10^5$  A), protékající cívkou o malém počtu závitů, vytváří magnetické pole ( $10^5$  Oe), které je o řád vyšší, než poskytují velké elektromagnety. Vzhledem k tomu, že proud teče jenom krátkou dobu ( $10^{-3}$  s), nestačí uvolněná energie na roztavení cívky. Touto metodou se dodnes získávají poměrně levně rekordně vysoká magnetická pole.
- První použití Wilsonovy komory v magnetickém poli. Metoda fotografování a proměřování drah částic v magnetickém poli je dodnes nejefektivnější experimentální metodou pro studium elementárních částic. Bez ní bychom sotva měli dnešní znalost o stavbě hmoty.
- 1934 – konstrukce héliového zkapalňovače, který využívá k chlazení adiabatické expanze.
- 1937 – objev supratekutosti hélia (izotopu  $^4\text{He}$ ). Sérií velice jemných a originálních experimentů tehdy Kapica dokázal, že v kapalném heliu existují pod jistou teplotou (2,19 K) dvě kapaliny, z nichž jedna má obvyklé vlastnosti, druhá má vlastnosti zcela neočekávané – zejména nulovou viskozitu a obrovskou tepelnou vodivost.
- 1938 – objev tzv. Kapicova tepelného odporu. Při velmi nízkých teplotách vzniká při přenosu tepla mezi kapalinou a pevnou látkou skok teploty. Při projektování experimentů v oblasti velmi nízkých teplot je třeba s tímto jevem počítat, protože je vážným omezením pro chlazení nebo měření teplot pod 1 K.
- 1939 – objev a konstrukce turbodetanderu, který může nahradit pístové expanzní stroje ve všech zařízeních, kde se pro snížení teploty plynu využívá adiabatické expanze. Tento princip měl obrovské důsledky zejména pro metodu dělení vzduchu na kyslík a dusík, protože celý proces velice zlevňoval. Bylo totiž možno použít nižšího tlaku (35 atm místo 150), a tedy místo pístových kompresorů využít kompresory rotační, které mají vyšší účinnost a mohou být konstruovány na vysoké výkony. Většina kyslíku používaného v technice se získává právě tímto způsobem. Hutnictví, technika sváření, chemický průmysl, raketová technika by bez turbodetanderu nebyly na dnešní vysoké úrovni.
- 1950 – konstrukce vysokofrekvenčních generátorů, které mají velmi vysoký výkon – 175 kW v nepřetržitém režimu, což představuje rekord zase v úplně jiném oboru.

Tedy zásadní objevy v oboru fyziky nízkých teplot, za které byla akademiku Kapicovi udělena Nobelova cena v roce 1978, byly učiněny ve třicátých letech. Za těch více než 40 let nezastaraly, naopak čas plně prověřil jejich závažnost.



V seznamu významných výsledků jsme nekommentovali podrobněji konstrukci heliového zkapalňovače využívajícího adiabatické expanze plynu – výsledek, který, ač vypadá spíše technologicky než fyzikálně, sehrál rozhodující úlohu v rozvoji fyziky nízkých teplot tím, že učinil kapalně helium dostupné i pro nepřiliš velké a nepřiliš bohaté laboratoře. P. L. Kapica si tuto okolnost uvědomoval už v roce 1934, kdy psal o svém objevu článek do časopisu „Socialistická rekonstrukce a věda“. Uvádíme dále překlad tohoto článku, který byl určen pro širší technickou veřejnost. Při jeho čtení je třeba si uvědomit, že byl napsán před 35 lety, tedy v době, kdy fyzika nízkých teplot byla dostupná jenom několika málo laboratořím na světě a stála teprve před velkým rozmachem, který umožnil právě popisovaný objev.

## Nová metoda zkapalňování hélia

(Článek v časopise „Socialistická rekonstrukce a věda“)

*P. L. Kapica*

Pro získání nízkých teplot, blízkých k absolutní nule, se používá jako chladiva zkapalněných plynů. Kapalně vzduch vře při 81 K ( $-192^{\circ}\text{C}$ ), vodík při 20 K, ale ze všech známých plynů má nejnižší bod

varu hélia. Helium kondenzuje do kapalného stavu až při 4,2 K, snížením tlaku se podařilo dosáhnout teploty 0,8 K. Využitím magnetických vlastností silně magnetických látek ochlazených na teplotu kapalně hélia se podařilo přiblížit se ještě více k absolutní nule. Nejnižší dosažená teplota byla něco pod 0,1 K. \*)

\*) Dnes se adiabatickou demagnetizací paramagnetik dosahuje teploty řádu desítek milikelvinů.

Při nízkých teplotách získávaných pomocí kapalného hélia téměř přestává tepelný pohyb atomů a molekul v pevných látkách; díky tomu se jejich fyzikální vlastnosti značně mění a pozoruje se mnoho velice zajímavých fyzikálních jevů, například „supravodivost“, kterou objevil KAMERLING-ONNES.

Některé kovy, například olovo, rtuť, cín a jiné, ztrácejí při teplotě kapalného hélia náhle elektrický odpor. Zatím se podařilo pouze určit, že supravodivé olovo má elektrický odpor alespoň stotisícemiliónkrát menší než nejlepší měď při pokojové teplotě. Odpor je v supravodivém stavu tak malý, že proud naindukovaný do uzavřené smyčky cirkuluje v ní bez pozorovatelného oslabení po několik dní.

Největší nesnáze, která se vyskytuje při studiu v dané oblasti, je spojena se získáváním kapalného hélia. Proces jeho získávání je zdlouhavý, vyžaduje složitou aparaturu a zkušený personál.

Obtížnost úkolu zkapalnit hélium pochopíme, probereme-li si metody zkapalňování plynů.

Pro zkapalňování plynů se využívá snížení teploty plynu při adiabatické expanzi a principu tepelné regenerace. Stlačený plyn se před vstupem do expanzního stroje prohání regeneračním výměníkem. Po expanzi se zchlazený plyn vrací opět přes výměník, kde ochlazuje plyn, který prochází k expanznímu stroji. Teplota plynu vstupujícího do stroje a vystupujícího z něho bude klesat až do teploty kondenzace a po jejím dosažení bude část plynu vycházet z expanzního stroje už v kapalném stavu.

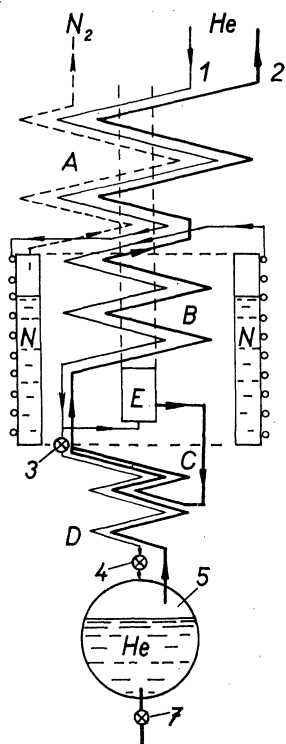
Popsaný proces zkapalnění plynů nemohl být dosud použit pro získávání kapalného hélia, protože konstrukci expanzního stroje znemožňovaly technické obtíže.

V expanzním stroji se musí pohybovat píst ve válci pokud možno bez tření a přitom ho hermeticky přehrazovat. Oba tyto požadavky lze splnit pouze mazáním mezery mezi válcem a pístem; při teplotě kapalného hélia a vodíku se však všechny látky bez výjimky nejen nehodí za mazadla, ale většina z nich se stává křehkými jako sklo. Proto se ke zkapalňování hélia a vodíku dosud používalo jiné metody, založené na Jouleově-Thomsonově jevu. Použitím této metody zkapalnil DEWAR v Anglii roku 1898 poprvé vodík a KAMERLINGH-ONNES v Holandsku roku 1908 hélium.

Jouleův-Thomsonův jev záleží v tom, že za jistých podmínek se stlačený plyn při expanzi do nádoby s nižším tlakem ochladí, aniž by konal vnější práci. Ochlazení vzniká na účet vnitřní práce nutné k překonání přitažlivých sil mezi molekulami plynu. Tohoto ochlazení se využívá současně s regenerační výměnou tepla, která už byla popsána.

Hlavním nedostatkem této metody je její mimořádně malá účinnost v důsledku malé hodnoty samotného Jouleova-Thomsonova jevu. Tak vzduch stlačený na 30 atm se při expanzi na tlak jedné atmosféry ochladí při pokojové teplotě o 17 stupňů, zatímco při stejné expanzi provedené adiabaticky se ochladí o 165 stupňů.

Ochlazení hélia touto metodou je na tom ještě hůř než chlazení stlačeného vzduchu. V důsledku malé hodnoty sil vzájemného působení mezi atomy hélia je Jouleův-Thomsonův jev nejenom velmi malý, ale může být využit, jenom když je hélium ochlazené na velmi nízké teploty. Proto je ho po stlačení třeba nejdříve ochladit na teplotu 14 K, tj. na teplotu, při níž vře kapalný vodík za sníženého tlaku. Účinnost této metody je stokrát



Obr. 1. Schéma prvního Kapicova zkपालňovače. Do zkपालňovače přichází hélium stlačené na 25–30 atm. trubkou 1 a postupně se chladí na stále nižší teplotu: ve výměníku A zpětným (t.j. ochlazeným, ale nezkondenovaným) héliem a vypařeným dusíkem, v trubce navinuté na nádobě N s kapalným dusíkem, ve výměníku B zpětným héliem. Potom se dělí na dva proudy (jejich poměr se reguluje ventilem 3): 87,5% expanduje v detanderu E, 12,5% se dále chladí v komprimovaném stavu ve výměníku C zpětným héliem a héliem, které se ochladilo při adiabatické expanzi (až asi na 10 K). Pro další ochlazování se už využívá Joule-Thomsonova jevu: za škrticím ventilem 4 se plyn rozepíná izoenthalpicky, ochlazuje se a ve výměníku D chladí novou porci stlačeného plynu, takže teplota plynu před expanzí klesá tak dlouho, až část plynu po expanzi zkपालní. Zkपालněné hélium se shromažďuje v nádobě 5 a vypouští kohoutem 7.

menší, než by byla při adiabatické expanzi. Kromě toho je třeba mít velkou zásobu kapalného vodíku a kapalného vzduchu:\*) je třeba připravit více než sto kilogramů kapalného vzduchu, druhý den připravit kapalný vodík a teprve třetí den se získá několik litrů kapalného héliu.

Za rok úsilovné práce v naší laboratoři se nám podařilo realizovat expanzní stroj,\*\*) ve kterém jsou překonány obtíže s mazáním. Zřekli jsme se nejenom mazání, ale vůbec těsného pístu. Píst se pohybuje ve válci úplně volně a to umožňuje, aby stlačený plyn protékal štěrbinou mezi válcem a pístem. Stroj je ale konstruován tak, že plyn expanduje za několik setin vteřiny a za tu dobu štěrbinou protekne pouze 2–3% plynu.

Náš expanzní stroj připomíná spíše výbušný stroj. Píst mimořádně rychle vyletuje, ale pomalu se vrací do své původní polohy. Klikový mechanismus je pro nás nepříjemný a je nahrazen speciálním hydraulickým zařízením.

Po překonání technologických obtíží (výběr materiálů, které nekřehnou, ovládání ventilů) se nám podařilo postavit stroj, jehož účinnost se ukázala rovnou 0,7. Píst ani válec se v tomto stroji vůbec neopotřebovávají. Zřejmě těch několik procent plynného héliu, které protékají štěrbinou, fungují jako jakési plynné mazadlo. A tak u našeho nynějšího zkपालňovače se používá k předchlazení pouze kapalného vzduchu, i když ani toho není principiálně třeba. Zrychluje to však práci a zmenšuje rozměry výměníků. Množství

\*) Dnes se používá kapalného dusíku z důvodů hlavně bezpečnostních.

\*\*\*) Pro expanzní stroj (je to válec o obsahu několika desítek  $\text{cm}^3$  s pístem) se vžil název *detander*.

potřebného kapalného vzduchu je velmi malé: na každý litr kapalného hélia je třeba dva litry kapalného vzduchu a na celý den práce s kapalným héliem ne více než 10–15 kg kapalného vzduchu.

Účinnost našeho adiabatického zkapalňovače je alespoň 10krát vyšší než

dřívějších aparátů. Ale hlavní úspora je čas. Za dvě hodiny po spuštění zkapalňovače se získává dostatečné množství kapalného hélia, aby bylo možno začít experimentovat. To všechno natolik usnadňuje práci s kapalným héliem, že se stane dostupným pro většinu laboratoří.

## Americká matematika od roku 1940 do předvčerejška\*)

*J. H. Ewing, W. H. Gustafson, P. R. Halmos,  
S. H. Moolgavkar, W. H. Wheeler, W. P. Ziemer*

*Předmluva. Jak nejlépe podat malý zlomek historie uvedený v názvu? Měla by se tato zpráva zabývat hlavně statistikou růstu časopisu *Mathematical Reviews*? Nebo by měla být věnována hlavně životům matematiků nebo by měla obsahovat především seznamy knih a článků? Nebo bychom měli jít v první řadě po stopách vlivů a důsledků, které vedly od königsberských mostů nejprve k *analysis situs* a potom k *homologické algebře*? Nerozhodli jsme se pro žádný z těchto způsobů, ale místo toho chceme říci co možná nejvíce o matematice, živé matematice dneška. Aby se nám to podařilo v daném časovém a prostorovém limitu, rozhodli jsme se vykládat naši tematiku tradičním stylem historie, totiž stylem „bitev a králů“. Snažíme se popsat hlavní vítězství americké matematiky od roku 1940, zmínit se o jménech vítězů a uvést — jak doufáme — dostatečné vysvětlení (*ale nic víc*), které ukazuje, jaký protivník byl poražen. Při popisu se obvykle omezujeme pouze na turzení. Vypouštíme všechny důkazy, ale někdy stručně naznačujeme jejich průběh. Takovýto náznak může být jedna věta nebo dva až tři odstavce; jeho účelem je spíše osvětlit situaci než přesvědčit.*

*Pokrok v matematice znamená objevení nových pojmů, nových příkladů, nových metod nebo nových skutečností. Schwartzův pojem distribuce, Milnorův příklad exotické sféry, Cohenova metoda forcingu a Feitova-Thompsonova věta o jednoduchých grupách sem nade vši pochybnost patří. Neměli jsme potíže*

---

\*) Překlad 1. části článku *American Mathematics from 1940 to the Day before Yesterday*, *American Mathematical Monthly* 83 (1976) No. 7, pp. 503–516.

Copyright © Mathematical Association of America.

Přeložil Jiří Vanžura.

Vylepšená verze tohoto článku byla přednesena (P. R. HALMOSEM) ve formě pozvané přednášky na setkání Americké matematické asociace v San Antoniu 24. ledna 1976. Autoři vyjadřují svou vděčnost W. AMBROSOVI, G. BENNETTOVI, J. L. DOOBOVI, L. K. DURSTOVI, I. KAPLANSKÉMU, R. NARASIMHANOVI, I. REINEROVI a F. TREVESOVI za jejich pomoc, rady, odkazy na literaturu a zvláště za jejich povzbuzení.