

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Milan Marvan

P. G. de Gennes, nositel Nobelovy ceny za fyziku - 1991

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 37 (1992), No. 6, 305--311

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139626>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1992

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>

# P. G. de Gennes, nositel Nobelovy ceny za fyziku – 1991

*Milan Marvan, Praha*

Šedesáté narozeniny, které letos oslavuje francouzský teoretický fyzik, profesor Pierre Gilles de Gennes, budou pro jubilanta jistě mimořádně slavnou událostí. Lze očekávat, že gratulanti nebudou moci opomenout skutečnost, že P. G. de Gennes se stal v roce 1991 nositelem Nobelovy ceny za fyziku.

De Gennes začíná svou vědeckou kariéru v 60. letech, kdy fyzika pevných krystalických látek dosahuje svého vrcholu. Také de Gennes se v této oblasti vyškolil, ale záhy pochopil, že i látky s menším stupněm uspořádání, jako jsou kapalné krystaly nebo polymery, mohou být úspěšně studovány z hlediska fyziky. Jeho rozsáhlé dílo věnující se méně uspořádaným soustavám bylo jako celek uznáno za tak významné, že švédská akademie se rozhodla udělit mu Nobelovu cenu.

Práce de Gennesa je ovlivněna teorií fázových a kritických přechodů, která byla původně vypracována pro krystalické látky. V de Gennesových pracích se znovu ukázala plodnost Landauovy myšlenky, že celý fázový přechod je ovládnán jedním nebo několika parametry uspořádání. Také pozdější teorie kritického bodu vycházející ze zákona škálovací invariantnosti (viz dále) a metoda renormalizační grupy (viz též dále) byly ihned de Gennesem pochopeny a rozpracovány na polymerní látky.

## **Feromagnetické období**

První soustavné práce jubilanta se týkají feromagnetických látek. Připomeňme jednu jeho práci z této oblasti, kde de Gennes získal zkušenosti v teorii fázových přechodů. Při zahřívání feromagnetické látky (permanentního magnetu) se dosáhne postupně kritické teploty  $T_c$ , při které látka přechází do paramagnetického stavu (spontánní magnetizace je nulová). Tento kritický bod je analogický kritickému bodu v soustavě kapalina – plyn. Je známo, že v soustavě kapalina – plyn se v okolí kritického bodu látka zamlží. Tento jev je důsledkem vytvoření velkých fluktuací hustoty, které se projeví v rozptylu světla. Analogický jev teoreticky studoval de Gennes na magnetických látkách. V magnetických látkách můžeme očekávat velké fluktuace magnetizace. Místo optického rozptylu se magnetická fluktuace projeví v rozptylu neutronů, což de Gennes nejen očekával, ale našel i kvantitativní charakteristiku tohoto jevu.

---

Doc. RNDr. MILAN MARVAN, CSc. (1932), pracuje na katedře fyziky polymerů MFF, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8.

## Období supravodičů

Mladý de Gennes, vyškolený v teorii fázových přechodů feromagnetických látek, se vrhá na další oblast: teorii supravodivosti. Obklopen skupinou experimentátorů, učí je i sebe teorii supravodivosti. I zde nezabíhá příliš do mikroskopické teorie, opět dominantní postavení hraje parametr uspořádání. V laické veřejnosti převládá domněnka, že hlavní vlastností supravodiče je jeho nulový elektrický odpor. Zsvěcený čtenář však ví, že podstatnou vlastností supravodiče je také fakt, že magnetické pole nemůže pronikat do hloubky supravodiče. Nulovost magnetického pole uvnitř supravodivého tělesa nelze odvodit z nulovosti elektrického odporu; v tomto ohledu je to další charakteristická vlastnost supravodivosti, která souvisí s jeho diamagnetismem.

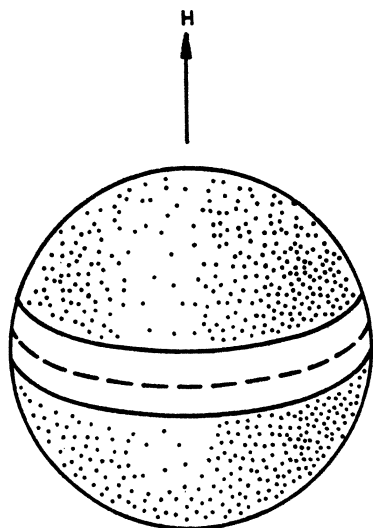
Jestliže jsme řekli, že magnetické pole (přesněji magnetická indukce  $B$ ) nemůže pronikat do vnitřku supravodivého tělesa, musíme ještě říci, že při dostatečně velkém vnějším magnetickém poli se supravodivost naruší. Vlastnosti supravodiče, které jsme zde načrtli, nejsou však ve skutečnosti tak černobílé, jak by se mohlo zdát. Uvnitř supravodivého materiálu ponořeného do magnetického pole mohou vznikat domény supravodivé a nesupravodivé („normální“) fáze. Supravodič se brání pronikání magnetického pole tím, že uvnitř tělesa vznikají smyčky — víry — supravodivých proudů, které produkují magnetické pole opačného směru, než je pole vnější. Můžeme tedy říci, že se v supravodiči vytváří velmi složitá struktura fází a polí. I zde de Gennes využil poměrně jednoduchý, ale mocný aparát Landauovy fenomenologické teorie (kterou V. L. Ginsburg poněkud zobecnil a použil na teorii supravodiče), aby systematicky studoval strukturu uvnitř supravodiče. Jeden z jeho příspěvků v tomto oboru (spolu s Saint Jamesem) popisuje chování supravodiče II. typu (tam je hloubka pronikání menší než u supravodiče I. typu) v magnetickém poli. V uvedené práci se ukazuje, že může existovat povrchová supravodivost, i když uvnitř vodiče je supravodivost zničena vnějším polem (obr. 1). Autoři vypočítávají další kritickou hodnotu pole, při které mizí i tato povrchová supravodivost.

Systematické studium supravodivých vlastností shrnul autor do monografie *Superconductivity of Metals and Alloys* [1], která se stala velmi rozšířenou učebnicí.

## Období kapalných krystalů

Po skončení supravodivého období nastupuje kolem roku 1968 pro de Gennese nové období; je to období kapalných krystalů. Kapalné krystaly, které z hlediska tekutosti se shodují s kapalinami, ale z hlediska optických vlastností s krystaly, byly objeveny již ke konci minulého století. Vzhledem k tomu, že kapalné krystaly jsou vytvářeny složitými organickými molekulami, byly předmětem zkoumání spíše chemiků než fyziků. V době, kdy de Gennes si začíná všimnout kapalných krystalů, se již pomýšlí na aplikace, zejména pro displaye počítačů. Kapalné krystaly mají totiž velkou výhodu v tom, že se snadno ovládají slabými vnějšími elektrickými nebo magnetickými silami. Pro de Gennese byla problematika kapalných krystalů opět příležitostí, aby použil techniky rozkladu hustoty volné energie podle parametru uspořádání a popsal tak různé možné

fáze kapalného krystalu a jejich prostorovou strukturu. De Gennes mohl sice využít zkušeností z problematiky supravodičů, nesmíme si však představovat mechanické přenášení výsledků z jedné oblasti do druhé. De Gennes si musel uvědomit některé rozdíly mezi oběma látkami.



Obr. 1. Příklad povrchové supravodivosti, předpovědné de Gennesem a Saint Jamesem. Mluvíme-li o povrchové supravodivosti, neznamená to, že celý povrch je tvořen supravodivou fází. Struktura supravodivých a normálních oblastí závisí na tvaru tělesa a na velikosti pole  $H$ . Na obrázku je koule ze supravodivého materiálu v magnetickém poli  $H$ . Oblast kolem rovníku je supravodivá a se zmenšováním pole se rozšiřuje směrem k pólům.

Je zřejmé, že teorie kapalných krystalů vznikala postupně; k jejímu vytvoření přispěla řada jiných autorů. Vybereme zde opět jednu typickou práci de Gennesa z oblasti kapalných krystalů. Tato práce se týká objasnění anomálního rozptylu světla v nematických kapalných krystalech (v nematické fázi mají podlouhlé molekuly jistou přednostní orientaci, ale nevytváří se prostorová periodicitu). Velký rozptyl světla na kapalném krystalu se projevuje na první pohled tím, že tyto látky se jeví zamlžené. Původní výklady spočívaly v představě, že se světlo rozptyluje na malých krystalech, z nichž je látka složena. Ovšem experimenty takovou představu nepotvrzují. De Gennes ukázal, že tento rozptyl světla zapadá do představ o spojitě prostorové změně parametru uspořádání, kterým je zde direktor, charakterizující průměrnou orientaci os molekul. Výklad tohoto jevu nevyžadoval konstrukci nějakých nových modelů, neboť vyplynul jako jeden z důsledků systematicky budované teorie. Čtenář jistě postřehl analogii tohoto jevu s rozptylem neutronů na feromagnetikách (o tom jsme hovořili na začátku).

Podobně jako v případě supravodičů, završuje de Gennes svou práci na problematice kapalných krystalů monografií: *The Physics of Liquid Crystals* [2], která obsahuje systematický výklad, založený na termodynamickém přístupu k problematice.

## Období polymerů

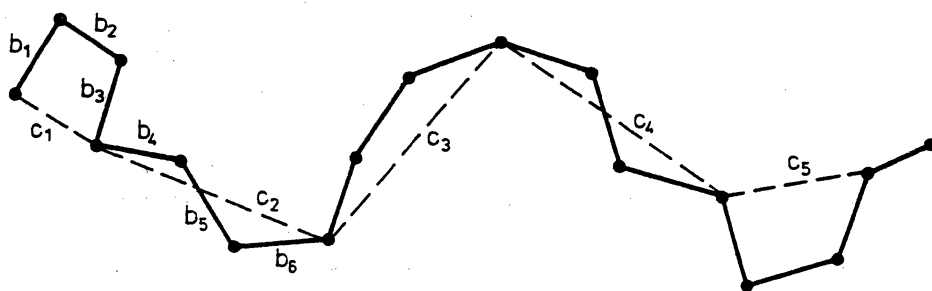
Kapalnými krystaly de Gennesova erudice není zdaleka vyčerpána. Již kolem roku 1971 se jeho zájem obrací k fyzice polymerních systémů.

V této době využil de Gennes tehdy „módní“ teorii renormalizační grupy (za kterou obdržel K. G. Wilson Nobelovu cenu) ke studiu rozměru polymerního řetězce.

Aby mohl čtenář ocenit de Gennesův přínos, dovoluji si napřed připomenout hlavní myšlenky metody renormalizační grupy (podrobněji viz např. [3]). Renormalizační grupa byla použita ke studiu kritických fázových přechodů, což se nejlépe ilustruje na feromagnetické látce. Je-li teplota vysoko nad teplotou  $T_c$  objevuje se v materiálu jen občas a jen v malých oblastech nenulová magnetizace jako fluktuační na nulovém pozadí. Při snižování teploty tyto fluktuační narůstají, zaujímají čím dál větší ostrůvky v moři nulové magnetizace, při kritické teplotě se všechny ostrovy spojí a dochází k fázovému přechodu do magnetického stavu. Jestliže bychom udělali fotografickou momentku ostrovů nenulové magnetizace při dvou různých teplotách nad  $T_c$ , zjistili bychom, že obrázky se vzájemně podobají, jen měřítko ostrůvků jsou různá. Při vhodné změně měřítka jedné fotografie, oba obrázky se stávají vzájemně podobné. V tomto případě mluvíme o měřítkové invarianci čili škálovací invarianci (scaling law). Přiřadíme-li každému ostrůvku (bloku) jakousi efektivní magnetizaci, pak interakce při různých teplotách jsou popsány formálně stejnými výrazy, avšak hodnoty konstant se mění. Operace, kterou se mění efektivní hamiltonián při přechodu od menšího ostrůvku k většímu je právě renormalizační grupou. Wilson ukázal, že při mnohokrát opakované operaci renormalizační grupy spěje efektivní hamiltonián k jakési limitní hodnotě (fixní bod).

Ačkoli hlavní využití metody renormalizační grupy bylo v teorii kritických přechodů, de Gennes použil této metody k určení vztahu mezi jistou charakteristikou vzdáleností konců polymerního řetězce a počtem článků, z nichž se skládá.

V jeho metodě grupová operace představuje nahrazení několika původních článků novým efektivním článkem (obr. 2).

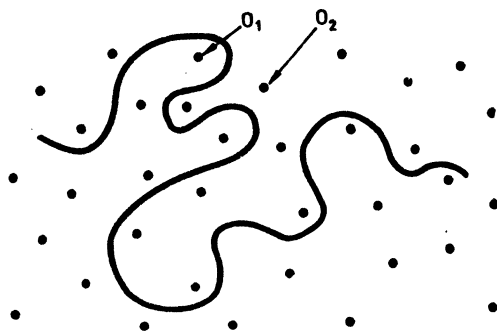


Obr. 2. Metoda renormalizační grupy aplikovaná na polymerní řetězec. Elementární články  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  jsou v prvním kroku nahrazeny článkem  $c_1$ . V dalším kroku bychom spojili začátek článku  $c_1$  a konec článku  $c_3$  a podobně pro další články.

Postupně je nahrazován větší a větší počet článků jedním článkem. Může vzniknout otázka, nač je třeba tak mohutného aparátu renormalizační grupy k určení tak na první pohled jednoduché úlohy. Problém sám je jednoduchý, pokud připustíme, že článek se může „beztrestně“ přibližovat k jinému článku nebo jej může dokonce protínat. Pod „beztrestností“ zde rozumíme, že blízkost dvou článků, které se potkají, neovlivní konfiguraci řetězce, jinými slovy, že zanedbáváme objemovou interakci. Takovýto

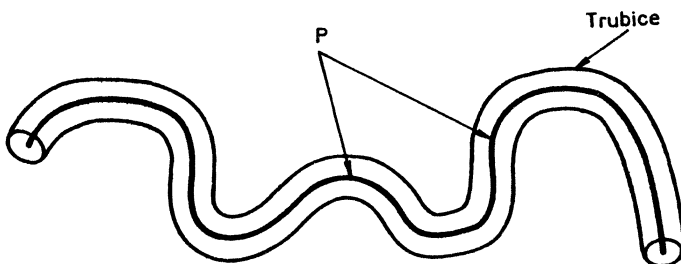
problém řetězce bez objemové interakce je analogický problému pohybu Brownovy částice a jeho řešení je dávno známo. De Gennes si vzal za úkol najít vzdálenost dvou konců řetězce se započítáním objemové interakce. Při řešení problému vyšel z dvou krajních idealizací, které stojí na opačných pólech. Na jedné straně stojí zmíněná idealizace bez objemové interakce, na straně druhé se naopak klade důraz na objemovou interakci, ale „zapomíná se“, že články jsou spojeny do řetězce. V této poslední idealizaci si můžeme představit, že články jsou od sebe odtrženy a chovají se podobně jako molekuly neideálního plynu. Obě uvedené idealizace jsou nultými aproximacemi. V následující aproximaci vzdálenost dvou konců, a tedy také efektivní délka článku, závisí na objemové interakci a z druhé strany objemová interakce závisí na tom, jak velké roztržené molekuly (jak velké články) se setkávají. Tím se začnou obě krajní idealizace k sobě přibližovat až obdržíme limitní sblížení obou aproximací. Dostáváme se tak k Wilsonovu fixnímu bodu. Takovým elegantním způsobem našel de Gennes vzdálenost dvou konců řetězce se započtením možné objemové interakce.

Zmíňme se ještě o jednom důležitém příspěvku De Gennese v oblasti polymerní fyziky. Týká se pochopení viskoelastických vlastností takových materiálů, jako je třeba guma. Jak obtížné je takovou teorii udělat, pochopíme, představíme-li si, že máme popsat mechanické vlastnosti soustavy dlouhých špaget promíchaných v hrnci. My sice umíme popsat chování individuální samotné špagety (polymerního řetězce), ale ostatní špagety překáží pohybu myšlené špagety. Zde patří zásluhy Edwardsovi a de Gennesovi, kteří vytvořili jednoduchou představu, umožňující dělat kvalitativní závěry. Byla vytvořena představa, že ostatní řetězce kromě myšleného vytvářejí překážky (obr. 3), které si můžeme představit ve tvaru trubky (tube model) (obr. 4). Myšlený řetězec se tedy může pohybovat jen v trubce.



Obr. 3. Polymerní řetězec zaujímá polohy mezi ostatními řetězci, které představují překážky  $O_1, O_2 \dots$ . Překážky kolem řetězce tvoří „trubku“ („tube“) viz obr. 4.

De Gennes zároveň učinil představu, že myšlený řetězec se v trubce neposouvá, ale pohybuje se plazivým pohybem (reptation motion). Tyto poměrně jednoduché představy dovolily popsat viskózní chování studovaných materiálů. I zde je studium polymerních systémů završeno monografií, jejíž název naznačuje, jakými metodami autor problematiku studuje. Název je *Scaling Concept in Polymer Physics* [4]. Název by ovšem mohl mylně zavádět k představě, že hlavním obsahem knihy je použití zmíněné renormalizační grupy. Není tomu tak. Ve skutečnosti jde o metodu analogickou



Obr. 4. Model trubky (viz obr. 3). Předpokládáme, že řetězec se pohybuje v trubce plazivým pohybem (reptation).

teorii podobnosti. Podstata metody spočívá v tom, že se z uvažovaných veličin vytvoří veličiny bezrozměrné a předpokládá se, že mezi nimi platí jednoduchý mocninný vztah typu  $z = x^r \cdot y^p$ . Tento vztah je právě důsledkem předpokladu „scalingu“. Mocnitéle  $r$ ,  $p$  se dají často určit tím, že známe jejich velikost v některé limitní hodnotě nezávisle proměnných. Stručně, ale zjednodušeně řečeno, tam, kde jiní autoři musí používat složitý matematický aparát, aby našli výsledek, tam de Gennes uhádne hlavní rys výsledku na několika řádcích.

### Životopisné údaje

Připomeňme ještě několik životopisných údajů. P. G. de Gennes se narodil v Paříži r. 1932. Vzhledem k nemoci musel část mládí strávit v alpské vesnici. Základní vzdělání mu dala jeho matka. Zdá se, že právě netradiční způsob vzdělání jej vedl k samostatnému myšlení. Vědeckou hodnost PhD získal v Centru pro atomová studia v Saclay. Jako postdoktorand pracoval v Berkeley u prof. Kittela. Jeho pedagogická kariéra začíná v r. 1961 na „Université du Paris Sud“ v Orsay. Nyní je členem fyzikální sekce Francouzské akademie věd a profesorem na Collège de France. Zároveň je ředitelem Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris (Vysoká škola průmyslové fyziky a chemie v Paříži).

### Metoda práce

De Gennes patří mezi ty teoretické fyziky, kteří si nepotrpí na hledání přesných řešení složitých rovnic. Mistrovsky však dovede vytvořit zjednodušený model, který dovoluje pochopit podstatu problému. To souvisí také s jeho vřelým poměrem k aplikačním otázkám, které ho vždy velmi inspirují a nutí ho nalézat včas odpovědi.

Kdybychom si chtěli vzít ponaučení z úspěchů de Gennese, mohli bychom vytvořit asi tento návod, jak získat Nobelovu cenu:

1. Naučit se jeden obor důkladně.
2. Umět přenášet idee z jednoho oboru na jiný právě se rozvíjející obor.

3. Včas si klást otázky. Odpovědi však nehledat pomocí složitých výpočtů, nýbrž spíše hledat zjednodušující model, který vystihne podstatu věci.

Přeji mladým adeptům fyziky, aby tohoto návodu použili, pokud se spokojí s tím, že jeden milión amerických dolarů je čeká takřka až na konci vědecké kariéry.

Při psaní tohoto článku jsem měl informace z [5] a [6] a materiálů zapůjčených M. Glogarovou.

#### L i t e r a t u r a

- [1] DE GENNES, P. G.: *Superconductivity of Metals and Alloys*. W. A. Benjamin, Inc. New York, Amsterdam, 1966.
- [2] DE GENNES, P. G.: *The Physics of Liquid Crystals*. Clarendon Press, Oxford 1974.
- [3] WILSON, K. G.: Pokroky matematiky, fyz. a astronomie, 31 (1986), 1.
- [4] DE GENNES, P. G.: *Scaling Concept in Polymer Physics*. Cornell University Press, Ithaca, London, 1979.
- [5] FRIEDEL, J.: Europhysics News, 23 (1992), No. 1, 15.
- [6] LEVI B. G.: Physics Today, prosinec 1991, 17.

## Kvantová teorie a operace spojení v teorii svazů

*James H. Grath*

JAMES H. MCGRATH učí filozofii na Centrální Michigenské univerzitě. Vedle základů fyziky a formální logiky zahrnují jeho vědecké zájmy etiku a vojenský profesionalismus.

Kvantová teorie před nás staví jeden dramatický problém. Jejím předpovědím nelze nic vytknout, ale jakýkoli pokus vysvětlit kvantové jevy se přičí zdravému rozumu. Pokud je kvantová teorie správná, něco, co považujeme za nesmysl, musí být pravda; a teorie nám napovídá, co ze zdravého rozumu hodit přes palubu. Tímto problémem se zabývali někteří z největších myslitelů našeho století.

V roce 1933 byl John von Neumann, tehdy třicetiletý, nejmladším členem nově založeného Ústavu pro pokročilá studia. Rok před tím poskytla kniha *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* užitím vlastností Hilbertova prostoru rigorózní axiomatizaci intuitivních metod používaných do té doby v nové kvantové teorii.

---

JAMES H. MCGRATH: *Quantum Theory and the Lattice Join*. The Mathematical Intelligencer Vol. 13., No. 3, 1991. Přeložil PAVEL JIRÁČEK.

©1991 Springer-Verlag New York