

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Zdeněk Horák

Před 250 lety zemřel Isaac Newton

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 22 (1977), No. 5, 263--269

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138485>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1977

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>

# Před 250 lety zemřel Isaac Newton

Zdeněk Horák, Praha



Na den 20. března připadlo 250. výročí smrti zakladatele novodobé fyziky ISAAKA NEWTONA, ale je třeba si uvědomit, že jeho myšlenky ovlivňují vývoj matematiky a fyziky již po celá tři staletí. Existuje velké množství životopisných, odborných, filozofických i populárních publikací ve světové i naší literatuře, z nichž některé jsou uvedeny v pramenech [1], [2], [3], a proto se zde omezím na stručný přehled jeho vědecké činnosti v různých oborech matematiky a fyziky a pokusím se o nesnadný úkol: zhodnotit Newtonovy *Principy*\*) z dnešního hlediska.

Newton se narodil v posledních dnech roku 1642 ve vesnici Woolsthorpe po smrti svého otce a jeho matka si přála, aby rodinný statek jako nejstarší syn spravoval. Když se Isaac v této funkci neosvědčil, umožnila mu matka další studium v Granthamu a nakonec na Trinity College v Cambridge, kde se Newton seznámil zejména se spisy Euklidovými a Descartovými.

V létě r. 1665 jej morová epidemie přinutila, aby se na dva roky vrátil na rodný statek, kde sice jen stěží získával odbornou literaturu, ale zato tím usilovněji se mohl věnovat úvahám o základních problémech matematiky a fyziky, které zachytil ve svých nepublikovaných poznámkách. Teprve v roce 1669 uveřejnil část svých výsledků v práci *De analysi per aequationes numero terminorum infinitas* a r. 1671 v práci *Methodus fluxionum et serierum infinitarum*, kde uvádí základní vzorce pro derivaci a integraci nejen algebraických, ale i transcendentních funkcí, vyjádřených nekonečnými řadami. Newtonovy matematické práce pramenily především z fyzikální problematiky, kdežto současně vyvíjený Leibnizův infinitezimální počet vycházel z úloh geometrických. Teprve v r. 1707 vychází další Newtonovo matematické dílo *Arithmetica universalis*. Newton podal úplnou analytickou teorii kuželoseček a vymyslel metodu numerického řešení rovnic.

Již za svých studií se Newton zabýval optikou, vyráběl asférické čočky a r. 1685 si

---

\*) *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1686)

prý koupil na jarmarku hranol. Jeho přednášky o optice (1669–71) nebyly příliš oblíbeny, ale jeho práce *New Theory about Light and Colours*, otištěná r. 1672 ve Philosophical Transactions (vydávaných Royal Society), měla již charakter původní vědecké práce dnešního typu a vzbudila zasloužený zájem, i když obsahovala také poznatky publikované již Newtonovými předchůdci, např. GRIMALDIM (1665) a zejména JANEM MARKEM (Marcus Marci), který v knize *Thaumantias* (1648) vysvětlil správně duhu, objevil rozklad světla a popsal barvy tenkých vrstev i ohyb světla a svými úvahami o postupném šíření světla se velmi přiblížil Huygensovu principu (viz [4]). Newton ve své práci popsal výsledky pečlivých vlastních pokusů (disperze, skládání barev, interference atd). Ačkoli pokládal světlo za proud korpuskulí (tělísek), připouštěl, že tato tělíška mohou způsobit vibrace éteru, ale polarizaci světla pokládal za neslučitelnou s undulační teorií světla, která tehdy předpokládala jen vlny podélné (obdobné zvukovým). Přece však svými pracemi o zvukových vlnách a svým dílem *Optics* (1704) položil základy pozdější vlnové (fyzikální) optiky.

Z osobního hlediska byla však pro Newtona nejvýznamnějším činem konstrukce zrcadlového dalekohledu, který poslal r. 1671 londýnské Royal Society, jejímž členem byl brzy nato zvolen. Jeho vědecké činnosti se postupně dostává plného uznání a Newton se významně uplatňuje i ve veřejném životě. Od r. 1696 spravuje anglickou mincovnu a r. 1699 je jmenován mincmistrem. V témže roce je zvolen zahraničním členem pařížské Akademie a od r. 1703 až do své smrti je předsedou Royal Society. Konečně r. 1706 dostává od královny šlechtický přídomek „sir“. Dne 2. března 1727 předseda naposled sezení Royal Society a po krátké nemoci umírá 20. března. Dne 4. dubna byl s nejvyššími poctami pohřben ve Westminsterském opatství.

V první knize *Principií* užívá svých axiómů k řešení pohybu hmotných bodů a těles a zobecňuje 2. Keplerův zákon na zákon ploch platný za působení libovolné centrální síly, studuje pohyb po kuželosečkách, pohyb kyvadla a problém několika těles. Dokazuje, že univerzální gravitace plně vysvětluje pohyby planet.

V druhé knize se zabývá pohybem těles v odporujícím prostředí. Zjišťuje, že při malých rychlostech je tento odpor úměrný rychlosti (Newtonské kapaliny), při větší rychlosti jejímu čtverci. Uvažuje o příčině elasticity a o některých otázkách akustických (závislost rychlosti zvuku na teplotě). Závěrem pak dokazuje, že Descartova hypotéza vírů nemůže vysvětlit pohyb nebeských těles.

Třetí kniha pojednává o „systému světa“ a v jejím úvodu formuluje čtyři „pravidla filozofování“, z nichž první dvě vyslovují přesvědčení, že příčiny přírodních jevů téhož druhu jsou vždy tytéž, a podle 4. pravidla je třeba indukci získané zákony považovat za velmi blízké pravdě, pokud se na základě nových jevů nedosáhne větší přesnosti. Ve vlastním textu 3. knihy se dokazuje, že tíže na povrchu zemském, i slapové pohyby moře i pohyby všech nebeských těles včetně Měsíce a Jupiterových satelitů jsou vysvětlitelné jeho gravitačním zákonem, podle něhož každé dvě hmotné částice se přitahují silou úměrnou jejich hmotnostem a nepřímo úměrnou čtverci vzdálenosti jejich středů. Druhé vydání *Principií* (1714) doplnil Newton závěrečnou poznámkou, že příčinu tíže nemohl z jevů vyvodit a „hypotézy nevymýšlí“. Stačí, že „gravitace existuje a působí podle zákonů, které vysvětlují všechny pohyby těles na nebi i na moři“.

Axiomatické vybudování mechaniky a koncepce všeobecné gravitace je geniální dovršení historického vývoje fyziky v Newtonově době a bezpečnou základnou dalšího rozvoje pozemské i nebeské mechaniky.

Již ze základních pojmů a definic je zřejmý Newtonův záměr oprostit bádání o přírodních jevech od subjektivnosti pozorovatele včetně jeho speciální volby těles, která je nutná při každém pokusu. Chce poznat „věci o sobě“, chce nalézt skutečné zákony platné pro *skutečné* neboli *pravé* pohyby. To se nejzřetelněji jeví v jeho definicích absolutního času a absolutního prostoru, kteréžto pojmy nechce spojovat se žádným náhodně zvoleným tělesem, ani s průběhem libovolně vybraného děje.

Otázka absolutního času je poměrně jednoduchá. Newton měl jistě na mysli čas, který měříme v klidové soustavě tělesa, na němž děj pozorujeme, a proto jej musíme ztotožňovat spíše s vlastním časem invariantním při Lorentzově transformaci. Podle obecné teorie relativity závisí běh času nejen na relativní rychlosti místa děje vzhledem k pozorovateli, ale i na místním gravitačním potenciálu, i když poslední vliv je v pozemských poměrech jen nesnadno zjištělný. Pokud jde o absolutní prostor, je tato otázka složitější. Existence absolutního klidu či pohybu beze vztahu k jakýmkoli materiálním objektům by byla ve sporu s materialistickým postulátem ([5], str. 17, [6] str. 16). Newton dospěl k pojmu absolutní rotace na základě svého známého pokusu s vědrem naplněným vodou. Jeho závěr, že absolutní neboli pravou (skutečnou) rotaci nesmíme vztahovat k vědru nebo jinému pozemskému tělesu, ba ani k Zemi samé, byl správný a nezbyvalo než hledat objekty definující absolutní prostor doslova „ve hvězdách“, jak učinil Newtonův současník filozof BERKELEY. To Newton právem nebyl ochoten připustit vzhledem k tomu, že tehdy se celý vesmír redukoval na svítící body a pruh mléčné dráhy na noční obloze, o nichž se nic bližšího nevědělo. Je pochopitelné, že před 300 lety nebylo snadné objevit racionálně přijatelnou příčinu (původ) odstředivých i jiných setrvačných sil, a proto byly až do příchodu obecné teorie relativity – s výjimkou E. MACHA (viz [5] str. 425, [6] str. 148) vesměs pokládány za síly zdánlivé, jimiž jsme pokutováni za použití nesprávných (neinerciálních) vztažných soustav. Lze tedy mít za to, že Newtonova snaha dopátrat se absolutních (pravých) pojmů nezávislých na náhodně volených vztažných soustavách byla chvályhodná, ale v jeho době neuskutečnitelná.

Přistupme nyní k pohybovým zákonům, jejichž formulace je dostatečně známá z elementárních učebnic. Domnívám se, že obvyklá formulace zákona setrvačnosti je přijatelná jedině pro hmotný bod nebo pro dokonale tuhé těleso v translačním pohybu a nelze z ní bez dalších předpokladů usuzovat na průběh rotačního pohybu těles. Tomu nasvědčuje i původní Newtonova formulace 1. axiómu z r. 1664 [2], v níž mluví nikoli o pohybu tělesa, ale veličiny („quantity“) a kde se rozeznávají jasně dva případy: 1. kdy vnější příčina zbrzdí pohyb po přímce, 2. kdy vnější příčina odkloní veličinu od pohybu v přímce. Je jistě možno interpretovat „veličinu“ jako hmotný bod nebo částici, ale nikoli jako rotující těleso. Základní axióm musí být uzpůsoben k vyvozování co nejobecnějších důsledků a to přímo vyžaduje vztahovat zákon setrvačnosti na hmotný bod neboli částici, z nichž si už Newton představoval složena všechna tělesa (tuhá i pružná). Proto by nebylo účelné ani ve výuce zahrnovat do prvního axiómu případ rotujícího tělesa, jak se navrhuje v [7]. V příkladu letícího projektilu Newton

výslovně mluví jednak o zpomalování odporem vzduchu, jednak o odchylování gravitační silou. U roztočeného kola pak přímo vysvětluje, že části (partes) kola konají rotační pohyb nikoli jako přímý důsledek zákona setrvačnosti, ale vlivem koheze se odchylují „a motibus rectilineis“. Tyto kohezní síly a ovšem i vlastní gravitační síly se uplatňují i při rotaci planet. Z hlediska didaktického by zobecnění na rotující těleso bylo možné až po výkladu o hlavních osách setrvačnosti a o volné ose. Na vyšší úrovni výuky by bylo ovšem vhodné poukázat na možná zobecnění zákona setrvačnosti pro bodové soustavy ([8], str. 219): Bod zobrazující pohyb systému  $N$  bodů v  $3N$ -rozměrném konfiguračním prostoru systému se pohybuje rovnoměrně přímočaře. Podobný zákon platí i ve virtuálním prostoru systému bodů vázaných (např. v šestirozměrném konfiguračním prostoru tuhého tělesa).

II. axióm, podle něhož časová změna hybnosti (mutatio motus) je úměrná působící síle (co do velikosti i směru), platí zase jen pro hmotný bod (částici) a pro tuhé těleso jen při translačním pohybu za působení centrální síly směřující k jeho hmotnému středu. Kdybychom chtěli také zákon síly zobecnit pro rotaci tělesa, musili bychom zavést moment hybnosti (točivost) a moment síly. To je další důvod proti zobecňování I. axiómu, který je pouze zvláštním případem axiómu II.

Podobně jako I. zákon je ovšem možno (zase na vyšší úrovni) zobecnit i II. zákon na systémy bodů nebo tuhých těles (viz [8], str. 220): Vektor časové změny hybnosti systému v jeho konfiguračním prostoru je roven zobecněné vnější síle. Tato věta platí i pro obecný pohyb tuhého tělesa.

Z dnešního hlediska je třeba vyzdvihnout, že Newtonova původní formulace zákona síly zůstává v platnosti i ve speciální teorii relativity, připustíme-li, že hmotnost závisí známým způsobem na rychlosti. III. axióm byl patrně výsledkem vlastních Newtonových úvah a platí zřejmě v klasické fyzice pro síly působící mezi hmotnými body v jejich spojnici nebo pro centrální síly mezi tělesy. V teorii relativity platí jen pro síly vyvolané přímým dotykem těles nebo pro částice, které mají stejné rychlosti co do velikosti i směru ([5] str. 443). Dokladem toho je interakce mezi dvěma bodovými náboji s rychlostmi různých směrů, které na sebe působí obecně necentrálními silami elektrodynamickými ([5] str. 601). Newton byl k zákonu akce a reakce patrně veden přesvědčením, že zákon setrvačnosti platí i pro izolované soustavy libovolného počtu těles a že celková hybnost takových soustav je stálý vektor. Tento důsledek III. axiómu platí i v teorii relativity ([9]). Newtonovy pohybové zákony platí podle jeho základního předpokladu jen ve vztažných soustavách inerciálních, které se vzhledem k absolutnímu prostoru pohybují rovnoměrně přímočaře. Ačkoli nemáme možnost ověřovat přímo zákon setrvačnosti v nějakém mezigalaktickém prostoru, kde prakticky nepůsobí gravitace, máme možnost ověřit platnost gravitačního zákona např. v mezihvězdném prostoru, kde se uplatňuje pouze gravitační působení hvězd naší Galaxie. Tak je možno z pozorovaných rychlostí hvězd a mezihvězdného plynu odhadnout, že souřadnicový systém pozíční astronomie se vzhledem k inerciálním soustavám neotočí o více než o několik tisícín úhlové sekundy za 100 let ([10]). To znamená, že absolutní prostor Newtonův se prakticky neotáčí vzhledem k metagalaxii. Tento fakt je v souladu s relativistickou kosmologií a plyne též jako vysoce pravděpodobný důsledek Newtonovy mechaniky. Celý vesmír je totiž podle své definice izolovanou soustavou, a proto jeho hmotný střed

se pohybuje podle zákona setrvačnosti. Je-li však pohyb vzhledem k absolutnímu prostoru pohybem skutečným (pravým), a pokládáme-li galaxie nebo spíše kupy galaxií za volné, navzájem prakticky izolované soustavy, nelze mít za pravděpodobné takové usměrnění jejich rychlostí, aby hmotný střed celého vesmíru měl nějakou nenulovou rychlost. Nevěříme-li v době kosmických letů na existenci křišťálových sfér, je ještě méně pravděpodobné, že by se všechny kupy galaxií otáčely jako tuhá soustava kolem hmotného středu vesmíru. Tak přicházíme k závěru, že podle Newtonovy fyziky splývá jeho absolutní prostor s prostorem spojeným s vesmírem (metagalaxií) aspoň s tak vysokou pravděpodobností, s jakou platí II. hlavní věta termodynamická v makroskopickém měřítku (srovn. [11]). Je pozoruhodné, že Newton tento poznatek uvádí na str. 373 druhého vydání *Principií* jako Hypothesis I.: „Centrum Systematis Mundani quiescere“. Newton dokonce pokládal i samotnou sluneční soustavu za izolovanou a vyslovil také „Theorema XI“, podle něhož společný hmotný střed Slunce a všech planet je v klidu. Vztahujeme-li klid k metagalaxii, není tento Newtonův teorém pravdivý.

Stejně významný jako tři pohybové zákony je i Newtonův gravitační zákon. I když myšlenka přitažlivých sil mezi Sluncem a planetami, sil nepřímou úměrných čtverci vzdálenosti, nebyla zcela původní, je Newtonova exaktní formulace gravitačního zákona velkým činem, protože jej pojal jako výsledek interakcí mezi nejmenšími částicemi hmoty, což přímo vede k úměrnosti sil mezi tělesy hmotnostem těchto těles a protože prohlásil konstantu úměrnosti za univerzální veličinu stejnou pro všechny látky a nezávislou na prostředí obklopujícím gravitující tělesa, i na přítomnosti jiných těles. Platnost takto formulovaného zákona bezpečně prověřil jednak pozemskými pokusy s kyvadly, jednak vysvětlením pohybu planet, Měsíce i Jupiterových satelitů. Toto ověření trpělivě sledoval po mnoho let a zákon neuvěřil, dokud se o jeho velmi přesné platnosti bezpečně nepřesvědčil. Nelze proto vytýkat Newtonovi, že položil „gravitační náboj“ rovný setrvačné hmotnosti. Vždyť i EINSTEIN zobecnil tento Newtonův poznatek na princip ekvivalence především na základě odvážné intuice a rovněž MAXWELL byl veden k posuvnému proudu právě intuicí. Newton se ovšem dopustil nepřesnosti tím, že předpokládal lineárnost gravitace, a tedy i platnost principu superpozice, která byla v jeho době všeobecně uznávána a o které tehdy sotva mohl pochybovat na základě pozorování, která byla pro něj vždycky rozhodující. Nehledíme-li k malým relativistickým posuvům perihélií vnitřních planet, můžeme říci, že Newtonova teorie platí s velkou přesností až do vzdáleností desítek kiloparseků, a to i uvnitř galaxií vzdálených od nás milióny až miliardy světelných let. Tak bylo také možno potvrdit, že ani v nesmírně vzdálených spirálních galaxiích se inerciální soustavy prakticky neotáčejí vzhledem k metagalaxii.

Hlavní charakteristikou Newtonovy gravitační teorie je přímé působení těles na dálku. Newton zásadně odmítal činit hypotézy o podstatě nebo o příčinách gravitace a zřejmě pokládal její účinek za okamžitý. Tato poslední vlastnost gravitační interakce, dnes naprosto nepřijatelná, je bezvýznamná, pokud gravitující tělesa jsou relativně v klidu nebo v dosti pomalém pohybu. Byla přisuzována i silám elektrickým a teprve před sto lety vyloučena Maxwellem u sil elektromagnetických a teorií relativity byla posléze nekonečná rychlost šíření všech polí omezena rychlostí světla. Naproti tomu Newtonův

předpoklad nezávislosti gravitace na prostředí platí dodnes, a to i pro síly elektrické a magnetické, které se jeví závislými na prostředí jen formálně při obvyklém fenomenologickém popisu ([5] str. 515) vynuceném potřebami praxe.

Dnešní polní teorie interakcí, elektromagnetická teorie Maxwellova a Einsteinova teorie gravitace jsou vedeny snahou vykládat všechny jevy jedině fyzikálním stavem v tom místě, kde jev probíhá. Zdá se však, že tento požadavek je splněn u teorií založených na parciálních diferenciálních rovnicích jen formálně. Konkrétní řešení těchto rovnic vyžaduje totiž znalost okrajových podmínek, které se týkají stavu pole v místech libovolně vzdálených. Tak např. dostaneme z Laplaceovy rovnice pro gravitační Newtonův potenciál (nebo elektrický potenciál Coulombův) pole bodové částice, když hledáme řešení symetrické kolem zdrojové částice, takže stav pole v místě měření závisí na fyzikálním stavu v libovolně vzdálených místech. Proto nepřekvapuje, že v novější době se objevily teorie elektromagnetických jevů (např. [12]), které vycházejí z akčního principu Fokkerova typu a připouštějí přímé interakce mezi diskrétními částicemi, šířící se ovšem prostorem rychlostí světla. Také interakce elementárních částic se popisují pomocí skalárních a vektorových potenciálů závislých na vzdálenosti. V tom lze spatřovat částečný návrat k Newtonovu způsobu popisu gravitace. Zdá se tedy, že podobně jako emanační a vlnová teorie světla se navzájem doplňují, i teorie interakcí by měla přihlížet zároveň k existenci částice i pole, které dohromady tvoří podstatu pozorovaných jevů.

Newton pojal úkol teoretické fyziky vysvětlovat pozorované jevy novým způsobem v tom smyslu, že konkrétní jevy vyvozoval z obecných principů a zákonů jako jejich logické a matematické důsledky. Vývoj fyziky dal Newtonovi za pravdu, neboť elektromagnetická teorie zahrnuje do zákonů elektrodynamiky i jevy magnetické včetně magnetostatiky, když AMPÈRE po OERSTEDOVĚ objevu vyslovil svou hypotézu „molekulárních proudů“, která byla vlastně jen důsledným uplatněním Newtonovy myšlenky, že příčiny přírodních jevů jsou vždy tytéž. Speciální teorie relativity dokonce vede k poznatku, že existence magnetických sil vyplyne Lorentzovou transformací sil elektrostatických a obecná teorie zahrnuje pod pojmem gravitačních sil i síly setrvačné. Sám Einstein pokládal zásadní příčinnost Newtonovy fyziky za její nejhlubší a nejvýznamnější rys a tento rys si zachovala i teorie relativity, která nijak nevysvětluje nové jevy, které z ní matematicky vyplývají, a přece to pokládáme za uspokojivý fyzikální výklad. Kdybychom chtěli nějak „náznorně“ (mechanisticky) vysvětlovat gravitaci, jak se o to pokusil např. LE SAGE [13], byli bychom ještě dnes ve velkých nesnázích.

Na závěr užiji parafrází Newtonových vlastních výroků, když vyslovím přesvědčení, že jeho přínos staletému vývoji fyziky lze pochopit jen tak, že „stál na ramenou obrů“ ještě větší obr než jeho předchůdci a že jeho příklad vášnivého sběratele „oblázků a lastur na pobřeží nepoznaného oceánu“ přírodních jevů bude i v budoucnu následován se stejným zaujetím stále rostoucím počtem badatelů za pomoci stále dokonalejších experimentálních metod.

## Literatura

- [1] L. NOVÝ a J. SMOLKA: *Isaac Newton*, Knižnice Portréty, Orbis 1969.
- [2] L. NOVÝ: *K Newtonově práci na textu díla Philosophiae naturalis principia mathematica*, Čs. čas. fyz. A 24 (1974) 490.
- [3] A. BĚLAŘ: *Dynamické zákony Newtonovy*, Fyzikální knižnice SPN 1964.
- [4] Z. HORÁK a J. MACHALICKÝ: *Vesmír* 46 (1967) 271.
- [5] Z. HORÁK a F. KRUPKA: *Fyzika*, 2. vyd., SNTL, ALFA, 1976.
- [6] B. VYBÍRAL: *Fyzikální pole z hlediska teorie relativity*, Edice Pomocné knihy pro žáky, SPN 1976.
- [7] M. ČERNOHORSKÝ: *Newtonova formulace prvního pohybového zákona*, Pokroky MFA 20 (1976) 344.
- [8] J. KUČERA a Z. HORÁK: *Tensory v elektrotechnice a ve fyzice*, Nakl. ČSAV, Praha 1963.
- [9] D. E. LIEBSCHER: *Theoretische Physik*, Akademie-Verlag, Berlin 1973, str. 213.
- [10] Z. HORÁK: *Observational Determination of Inertial-Coordinate Frames in Interstellar Space*, 27. Int. Astronautical Congress, Anaheim 1976 (Preprint).
- [11] Z. HORÁK: *From Copernicus to Einstein*, Memoirs and Observations of the Czechoslovak Astronomical Society of Czech. Academy Sci., No 15, Praha 1975, str. 239.
- [12] J. A. WHEELER and R. P. FEYNMAN: *Rev. Mod. Phys.* 21 (1949) 425.
- [13] L. LE SAGE: *Mémoires de Berlin, 1782*, Berlin 1784, str. 404 (viz E. WHITTAKER: *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I. T. Nelson, London 1962, str. 31).

## Fyzika pevných látek – stále významnější oblast fyziky\*)

*Ju. A. Osip'jan, Moskva*

**Otázka:** *Čím lze vysvětlit rychlý rozvoj fyziky pevných látek ve srovnání s jinými vedoucími oblastmi fyziky?*

**Odpověď:** Fyzika pevných látek začíná v poslední době skutečně zaujímat vedoucí postavení mezi ostatními obory fyziky. Projevuje se to rychlým růstem jak počtu pracovníků, tak i objemu investic v tomto oboru. Zvýšení úlohy fyziky pevných látek je v podstatě spojeno s ohromným počtem technických aplikací a zejména s vytvářením nových materiálů. Ve vědě i v technice, jak známo, existuje mnoho principiálně nových myšlenek (konstrukce strojů, principů přenosu pohybů apod.), které nemohou být

---

\*) Interview speciálního korespondenta časopisu *Priroda* Z. L. POKIROVSKÉHO s ředitelem Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR JU. A. OSIP'JANEM (*Priroda* 1975, č. 10).

© Překlad uveřejněn s laskavým svolením redakce časopisu *Priroda*.