

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Vladimír Balek

Honba za pátou silou

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 35 (1990), No. 6, 331--337

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138164>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1990

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>

# Honba za piatou silou

*Vladimír Balek, Bratislava*

Každý z nás sa ešte ako školák zoznámil s poučkou, že všetky telesá v danom mieste na Zemi padajú s rovnakým zrýchlením. Táto poučka, známa ako zákon voľného pádu, je jedným z najlepšie overených tvrdení vo fyzike vôbec. Jej platnosť dokazoval už Galileo Galilei (vraj) zhadzovaním rôznych predmetov zo šikmej veže v Pise. Nasledoval dlhý rad pokusov až po klasický Eötvösov pokus s torznými váhami, v ktorom bol zákon voľného pádu potvrdený s presnosťou  $10^{-9}$ , a neskoršie podobné pokusy Dickeho so spolupracovníkmi a Braginského a Panova, v ktorých sa dosiahla presnosť  $10^{-11}$  a  $10^{-12}$ .

Zákon voľného pádu rozšírený na ľubovoľné gravitačné polia hrá dôležitú úlohu v našich predstavách o podstate gravitačnej interakcie. V Newtonovej teórii gravitácie je tento zákon dôsledkom rovnosti dvoch rôznych kvantitatívnych charakteristík telies – gravitačnej a zotrvačnej hmotnosti – zatiaľ čo v Einsteinovej všeobecnej teórii relativity vyplýva z východiskového postulátu teórie – princípu ekvivalencie. Vo všeobecnej teórii relativity sa zavádza aj tzv. slabý princíp ekvivalencie, podľa ktorého pohyb voľných telies v gravitačnom poli nezávisí od ich stavby ani chemického zloženia. Je to vlastne zákon voľného pádu, sformulovaný spôsobom nezávisiacim od vzáťažnej sústavy.

Vo fyzike vždy vyvolá pozornosť, keď sa objavia experimentálne údaje, ktoré sú v rozpore s prijatými predstavami o nejakom jave. Príkladom na to je nedávny rozruch okolo studenej jadrovej syntézy. Pred tromi rokmi sa podobná vlna záujmu zdvihla po uverejnení článku amerického fyzika Fischbacha so spolupracovníkmi [1], kde bola vyslovená pochybnosť o presnej platnosti zákona voľného pádu. Fischbach a spol. znova preskúmali výsledky Eötvösovho pokusu a prišli k záveru, že tento pokus nepotvrďuje zákon voľného pádu, ako sa dovtedy usudzovalo, ale naopak svedčí proti nemu. Podľa týchto fyzikov chyby merania v Eötvösovom pokuse sú v skutočnosti odchýlky od zákona voľného pádu, pochádzajúce z toho, že medzi telesami pôsobí okrem gravitácie aj ďalšia podstatne slabšia sila, úmerná nie hmotnosti ale počtu nukleónov. (Dodatočná sila by mala pôsobiť nielen na nukleóny, ale aj na ďalšie elementárne častice, ktoré fyzici študujú na urýchľovačoch, takže by sa mala viazať na nejakú charakteristiku elementárnych častíc, ktorá sa v obyčajnej látke redukuje na počet nukleónov. Fischbach a spol. navrhli väzbu na tzv. hypernáboj, ale zdá sa, že experimentálne údaje o rozpadoch K-mezónov túto možnosť vylučujú.) Výsledkom novej analýzy Eötvösovho pokusu bola teda hypotéza o existencii ďalšej, doteraz neznámej interakcie. Keďže známe interakcie sú štyri, nová interakcia dostala názov „piata sila“.

Pre hypotézu piatej sily existoval ešte jeden argument pochádzajúci z geofyzikálnych meraní. Od začiatku 80. rokov robil austrálsky fyzik Stacey so spolupracovníkmi merania gravitačného zrýchlenia v banských šachtách. Výsledkom dlhoročnej práce bolo prekvapujúce zistenie [2]: gravitačné pole pod povrchom Zeme je o niečo slabšie, než by malo

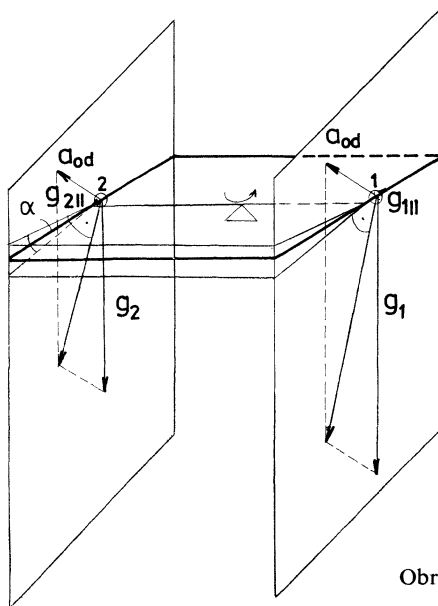
---

RNDr. VLADIMÍR BALEK, CSc. (1953) pracuje na Katedre teoretickej fyziky MFFUK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava.

byť podľa Newtonovej teórie. Rozbor výsledkov meraní ukázal, že odchýlky od Newtonovej teórie možno objasniť existenciou dodatočnej sily, ktorá je na malých vzdialenostiach asi stokrát slabšia než gravitačná sila. Prirodzený záver bol, že ide o tú istú silu, ktorá zapríčinila odchýlky od zákona voľného pádu v Eötvösovom pokuse.

Porovnajme piatu silu s ostatnými interakciami. Na rebríčku zostavenom podľa sily interakcie by mala byť piata sila celkom dolu, keďže je slabšia než gravitačná sila, ktorá je zo štyroch známych interakcií najslabšia. Dosah piatej sily by mal byť niekde v strede medzi dosahom gravitačnej a elektromagnetickej interakcie, ktorý je nekonečný, a dosahom slabej a silnej interakcie, ktorý je mikroskopicky malý. (Silná interakcia má dosah 1 fm, t. j.  $10^{-15}$  m, a slabá interakcia sa dlho považovala za kontaktnú, t. j. s nulovým dosahom; až po vzniku jednotnej teórie elektroslabej interakcie sa jej dosah stanovil na  $10^{-3}$  fm.) Piata sila by mala mať dosah väčší než niekoľko sto metrov (aby sa mohla prejaviť v šachtách s hĺbkou 1 km) a menší než niekoľko sto km (aby neovplyvňovala pohyb družíc okolo Zeme). Obmedzený dosah piatej sily prirodzeným spôsobom vysvetľuje, prečo sa piata sila nezistila pri pokusoch na overenie zákona voľného pádu, nasledujúcich po Eötvösovom pokuse a presnejších. Nemohla sa zistiť preto, lebo sa v nich využívalo gravitačné pôsobenie Slnka a pri predpokladanom dosahu piatej sily pole tejto sily budené Slnkom na Zem neprenikne.

Aby sme si priblížili vlastnosti piatej sily, pozrime sa podrobnejšie na oba pokusy, ktoré poskytl dôkazový materiál o jej existencii. V Eötvösovom pokuse sa zisťovala závislosť gravitačného zrýchlenia od chemického zloženia telies z narušenia rovnováhy na torzných váhach pri zmene ich orientácie (obr. 1). Predpokladajme, že dve telesá 1, 2 majú blízke, ale rôzne gravitačné zrýchlenia  $g_1$ ,  $g_2$ . Keď telesá 1, 2 umiestnime na torznú váhu, vznikne otáčavý moment závisiaci od orientácie váh, takže váhy sa po otočení o  $180^\circ$  nepatrne vychýlia z pôvodnej polohy. Odkiaľ sa vezme otáčavý moment, keď gravitačné zrýchlenie je orientované zvislo a váhy sa otáčajú vodorovne? Príčina



Obr. 1. Eötvösov pokus (schematicky).

je v tom, že okrem gravitačného zrýchlenia majú telesá aj odstredivé zrýchlenie  $\mathbf{a}_{od}$ , ktoré vzniká kvôli otáčaniu Zeme, takže rovina otáčania torzných váh je v skutočnosti odchýlená od „vodorovnej“ roviny kolmej na gravitačné zrýchlenie a priemety gravitačných zrýchlení do tejto roviny  $\mathbf{g}_{1\parallel}$ ,  $\mathbf{g}_{2\parallel}$  sú rôzne od nuly. (Na obr. je rovina otáčania torzných váh vyznačená hrubou čiarou. Orientovaná je tak, že delí na polovicu uhol  $\alpha$  medzi rovinami kolmými na vektory celkového zrýchlenia telies 1 a 2.) V Budapešti, kde sa konal Eötvösov pokus, odstredivé zrýchlenie smeruje šikmo nahor na juh, preto pri orientácii váh v smere západ – východ a  $g_1 > g_2$  vznikne otáčavý moment, ktorý pôsobí pri pohľade zhora proti smeru pohybu hodinových ručičiek, ak je teleso 1 na východe, a v smere hodinových ručičiek, ak je teleso 1 na západe. Rozdiel týchto momentov sa dá zmerať a z neho sa dá zistiť aj rozdiel gravitačných zrýchlení  $\mathbf{g}_1$ ,  $\mathbf{g}_2$ .

Eötvös so spolupracovníkmi našiel relatívne odchýlky gravitačného zrýchlenia rôznych materiálov od zrýchlenia vybraného materiálu (platiny)  $\Delta g/g$  rádu  $10^{-9}$ . Tieto odchýlky interpretoval ako chyby merania. Fischbach a spol. si ale všimli pozoruhodnú koreláciu medzi nameranými odchýlkami gravitačného zrýchlenia a chemickým zložením jednotlivých materiálov: hodnoty  $\Delta g/g$  sú úmerné defektu hmotnosti jadier prepočítanému na jeden nukleón  $\Delta m$ . (Eötvös samozrejme nemohol niečo také tušiť. R. 1909, keď uskutočnil svoj pokus, ešte vôbec nebolo objavené atómové jadro!) Súvis medzi  $\Delta g/g$  a  $\Delta m$  vedie priamo k predstave sily úmernej počtu nukleónov a navyiac umožňuje určiť aj veľkosť a orientáciu tejto sily. Ak na teleso pôsobí piata sila, jeho celkové zrýchlenie v zvislom smere je

$$(1) \quad g = g_0 + \frac{f_5}{m},$$

kde  $g_0$  je gravitačné zrýchlenie,  $f_5$  je piata sila prepočítaná na jeden nukleón a  $m$  je stredná hmotnosť nukleónu v jadre. Strednú hmotnosť nukleónu môžeme zapísať v tvare

$$(2) \quad m = m_p - \Delta m,$$

kde  $m_p$  je hmotnosť protónu a  $\Delta m$  je defekt hmotnosti určený vzhľadom na sústavu samých protónov (teda nie protónov a neutrónov) a prepočítaný na jeden nukleón. Keď dosadíme (2) do (1) a využijeme, že platí  $\Delta m \ll m_p$ , dostaneme

$$g \doteq g_0 + \frac{f_5}{m_p} + \frac{f_5 \Delta m}{m_p^2}$$

čiže

$$(3) \quad \frac{\Delta g}{g} = \frac{f_5}{f_g} \frac{\Delta m - \Delta m_0}{m_p},$$

kde  $f_g = m_p g$  je gravitačná sila prepočítaná na jeden nukleón a  $\Delta m_0$  je defekt hmotnosti referenčného materiálu takisto prepočítaný na jeden nukleón. Keďže koeficient úmernosti medzi  $\Delta g/g$  a  $\Delta m$ , zistený rozborom Eötvösových výsledkov, je kladný, musí byť  $f_5 > 0$ , t. j. piata sila je príťažlivá; a keďže  $\Delta g/g$  je rádu  $10^{-9}$  a  $\Delta m/m_p$  je rádu  $10^{-3}$ , musí byť  $f_5/f_g$  rádu  $10^{-6}$ , t. j. piata sila je na povrchu Zeme  $10^6$  krát slabšia než gravitačná.

Prejdíme teraz k rozboru meraní v austrálskych baniach [2]. Pôsobenie síl s obmedzeným dosahom opisuje tzv. Yukawov potenciál a ak sa zaujímate o piatu silu, potom za náboj v tomto potenciáli musíme dosadiť počet nukleónov zdroja, resp. približne hmotnosť zdroja. (Malý rozdiel medzi hmotnosťou a počtom nukleónov vynásobeným  $m_p$ , ktorý je taký dôležitý pri rozbere Eötvösovho pokusu, pri výklade geofyzikálnych meraní nehrá úlohu.) Yukawov potenciál bodového zdroja s nábojom úmerným hmotnosti je

$$(4) \quad V_{5,\text{bod}} = - \frac{\alpha \kappa m}{r} e^{-r/\lambda},$$

kde  $m$  je hmotnosť zdroja,  $r$  je vzdialenosť od neho,  $\alpha$  je bezrozmerná väzbová konštanta určujúca intenzitu piatej sily na krátkych vzdialenostiach a  $\lambda$  je dosah piatej sily. Ak chceme zistiť potenciál piatej sily Zeme v danej hĺbke pod povrchom Zeme, musíme Zem rozdeliť na dostatočne malé objemové elementy a sčítať príspevky od týchto elementov dané vzorcom (4). Pri výpočte sa uplatní iba povrchová vrstva Zeme s hrúbkou  $\lambda$ . Preto môžeme počítat potenciál piatej sily v prvom priblížení tak, že budeme uvažovať homogénny model Zeme, lenže s hustotou, ktorá sa nerovná strednej hustote Zeme  $\rho_Z = 5,5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ , ale strednej hustote vrstvy s hrúbkou  $\lambda$   $\rho < \rho_Z$ . Elementárnym výpočtom pre taký model dostaneme

$$(5) \quad V_5 = \frac{3\alpha \kappa C M}{r} \text{sh} \left( \frac{r}{\lambda} \right) f \left( \frac{R}{\lambda} \right),$$

kde  $C = \rho/\rho_Z$ ,  $M$  je hmotnosť Zeme,  $r$  je vzdialenosť od stredu Zeme,  $R$  je polomer Zeme a  $f(x) = x^{-3}(x+1)e^{-x}$ . Ak využijeme, že dosah piatej sily je omnoho menší než polomer Zeme, t. j.  $\lambda \ll R$  aj  $\lambda \ll r$ , môžeme písať

$$(6) \quad V_5 = \frac{3\alpha C g \lambda^2}{2r} e^{(r-R)/\lambda},$$

kde  $g$  je newtonovské gravitačné zrýchlenie na povrchu Zeme. Zrýchlenie od piatej sily je, opäť s využitím  $\lambda \ll R$ ,

$$(7) \quad g_5 = \frac{3\alpha C g \lambda}{2r} e^{(r-R)/\lambda}.$$

Túto veličinu rozvineme do členov lineárnych v  $h = R - r$ . Keďže  $\lambda \ll R$ , člen rádu  $h/R$  môžeme zanedbať oproti členu rádu  $h/\lambda$  a dostaneme

$$(8) \quad g_5 = \frac{3}{2} \alpha C g \frac{\lambda}{R} \left( 1 - \frac{h}{\lambda} \right).$$

Ak je  $\alpha > 0$ , čo zodpovedá príťažlivej piatej sile, zrýchlenie od piatej sily klesá s hĺbkou, takže by sa zdalo, že na dne šachty dostaneme zoslabenie gravitačného poľa v porovnaní s newtonovským poľom. Ale vec nie je taká jednoduchá. Treba si totiž uvedomiť, že efektívne newtonovské zrýchlenie  $\tilde{g}_N$ , s ktorým porovnáваме namerané hodnoty zrýchlenia, sa nelíši od newtonovského zrýchlenia  $g_N$  iba o aditívnu konštantu (hodnotu  $g_5$  na povrchu Zeme), ale rozdiel  $g_N - \tilde{g}_N$  sa s hĺbkou mení. Newtonovské zrýchlenie

v oblasti zemskej kôry, t. j. do hĺbky 35 km pod povrchom Zeme, je

$$g_N \doteq \frac{\kappa(M - 4\pi R^2 \rho_k h)}{(R - h)^2}$$

čiže

$$(9) \quad g_N \doteq g \left(1 + \frac{2h}{R}\right) - 4\pi\kappa\rho_k h,$$

kde  $\rho_k = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  je hustota zemskej kôry. Efektívne newtonovské zrýchlenie  $\tilde{g}_N$  je dané tým istým výrazom s veličinou  $g$  nahradenou

$$\tilde{g} = g + g_{50},$$

kde  $g_{50}$  je zrýchlenie od piatej sily na povrchu Zeme, a s veličinou  $\kappa$  nahradenou

$$\tilde{\kappa} = \kappa(1 + \alpha),$$

čo je hodnota gravitačnej konštanty zistená pri Cavendishovom pokuse, t. j. pri meraní príťažlivej sily dvoch vedľa seba položených gulí, ak gule na seba pôsobia okrem gravitačnej sily aj dodatočnou silou s potenciálom (4). Odchýlka celkového zrýchlenia nameraného v hĺbke  $h$  od newtonovského zrýchlenia je

$$\Delta g = g_N + g_5 - \tilde{g}_N = \Delta g_5 - g_{50} \frac{2h}{R} + 4\pi\alpha\rho_k h,$$

kde  $\Delta g_5$  je rozdiel medzi hodnotou zrýchlenia od piatej sily v hĺbke  $h$  na a povrchu Zeme. Prvý a tretí člen vo vyjadrení  $\Delta g$  sú oba rádu  $\alpha gh/R$ , zatiaľ čo druhý člen je rádu tej istej veličiny vynásobenej  $\lambda/R$ , takže ho môžeme zanedbať. Po dosadení za  $\Delta g_5$  a úprave dostaneme

$$(10) \quad \Delta g = \frac{3}{2} \alpha g \frac{h}{R} (-C + 2C_k),$$

kde  $C_k = \rho_k/\rho_Z$ . Platí  $C_k \doteq 1/2$  a  $C < 1$ , takže výraz v zátvorke je kladný a pri  $\alpha > 0$  dostaneme nie zoslabenie, ale zosilnenie gravitačného poľa v šachte. Keďže Stacey a spol. namerali zoslabenie gravitačného poľa, musí byť  $\alpha < 0$ , t. j. piata sila musí byť odpudivá a nie príťažlivá, ako vyšlo z rozboru Eötvösovho pokusu. (Fischbach a spol. pôvodne ohlásili, že sila, ktorú objavili pri analýze Eötvösových výsledkov, je odpudivá. Bol to zrejme výsledok podvedomej snahy nedostať sa do rozporu s meraniami v austrálskych baniach, ktorých predbežné výsledky títo autori poznali, keďže onedlho sa prišlo na to, že sa pomýlili v znamienku.) Hodnotu  $\alpha$  a  $g_5$  môžeme odhadnúť z toho, že pri banských meraniach sa zistilo zmenšenie gravitačného zrýchlenia v porovnaní s newtonovskou hodnotou v hĺbke 1 km rádovo 1 mGal, t. j.  $10^{-6} g$ . Platí  $\Delta g \sim \alpha gh/R$  a ak sem dosadíme  $h = 1 \text{ km}$ ,  $\Delta g = 10^{-6} g$ , dostaneme  $\alpha \sim -10^{-2}$ . Pri zväčšovaní  $\lambda$  veličina  $C$  rastie, t. j.  $|\alpha| = \text{konšt}/(-C + C_k)$  takisto rastie. Ďalej platí  $g_5 \sim \alpha g \lambda/R$  a pri  $\alpha \sim 10^{-2}$ ,  $\lambda \sim (1 \div 100) \text{ km}$  odtiaľ dostaneme  $g_5 \sim -(10^{-6} \div 10^{-4}) g$ , takže piata sila vychádza na povrchu Zeme  $10^6$  až  $10^4$ krát slabšia než gravitačná sila. Menšia z týchto hodnôt sa zhoduje s hodnotou vyplývajúcou z rozboru Eötvösovho pokusu, ale presnejšie porovnanie nie je možné kvôli našej neznalosti dosahu piatej sily.

Ako objasniť nepríjemnú skutočnosť, že piata sila pri jednom pokuse vychádza príťažlivá a pri druhom odpudivá? Pozrime sa ešte raz na interpretáciu Eötvösovho pokusu. Keby bola Zem presne sféricky symetrická, piata sila by pôsobila v smere gravitačného zrýchlenia tak, ako sme predpokladali pri odvodzovaní vzťahu (3). Lenže ak vezmeme do úvahy sploštenie Zeme pod vplyvom odstredivých síl, piata sila bude mať smer celkového zrýchlenia, takže sa nijako neprejaví pri Eötvösovom pokuse [3]! Príčina je v tom, že celkové zrýchlenie, t. j. vektorový súčet gravitačného a odstredivého zrýchlenia, je kolmé na povrch Zeme a nie odchýlené ako v prípade so sférickou symetriou, a rovnaký smer má aj piata sila, ak je v okolí miesta, kde ju meriame, látka rozložená presne homogénne. To znamená, že pozorovateľný efekt pri Eötvösovom pokuse dávajú iba lokálne nehomogenity rozloženia látky v oblasti s polomerom, ktorý sa rovná dosahu piatej sily; ak tieto nehomogenity presne nepoznáme, nemôžeme nič povedať ani o znamienku piatej sily. (Príťažlivá sila odklonená na jednu stranu od vektora celkového zrýchlenia má rovnaký účinok ako odpudivá sila odklonená na druhú stranu.)

Dva pokusy, ktoré viedli k hypotéze piatej sily, nechali veľa otázok o vlastnostiach tejto sily otvorených a vlastne ani neposkytli dostatočne presvedčivý dôkaz, že piata sila vôbec existuje. Preto bolo treba uskutočniť ďalšie pokusy, predovšetkým zreprodukovať Eötvösov pokus, pretože robiť ďalekosiahle závery iba na základe novej analýzy pokusu zo začiatku nášho storočia je predsa len trochu prehnané. Tak sa začala honba za piatou silou, ktorá trvá dodnes.

Pokusy na potvrdenie existencie piatej sily sú dvojakého druhu: s meraním prejavov piatej sily závisiacich od chemického zloženia telies (ako bol Eötvösov pokus) a s meraním prejavov nezávisiacich od neho (ako boli merania v austrálskych baniach). Do prvej skupiny patrí pokus s torznými váhami [4] (tzv. pokus Eöt-Wash, keďže bol uskutočnený na univerzite štátu Washington v USA), ďalej pokus s plávajúcou medenou sférou [5], pokus s torzným kyvadlom [6], priame meranie zrýchlenia telies z rôznych materiálov pri voľnom páde [7] a iné, zatiaľ čo do druhej skupiny patrí napr. meranie gravitačného poľa na veži geofyzikálneho laboratória vzdušných síl USA [8] a merania v 2 km hlbokej vrtnej diere v grónskom Iadovci [9]. Výsledky pokusov vzbudzujú rozpaky svojou protirečivosťou. Tak napr. v pokuse Eöt-Wash neboli zistené žiadne odchýlky od zákona voľného pádu s presnosťou (v poslednej verzii pokusu)  $3 \cdot 10^{-11}$ , ktorá sa vyrovná presnosti pri pokusoch využívajúcich gravitačné pôsobenie Slnka, zatiaľ čo v pokuse s torzným kyvadlom sa namerali nenulové odchýlky, ktoré sa nepodarilo odstrániť ani po dvojročnej eliminácii rôznych zdrojov chýb. A aby bol zmätok okolo piatej sily ešte väčší, merania na veži vzdušných síl USA aj v grónskom Iadovci potvrdili existenciu piatej sily, lenže nie odpudivej, ale príťažlivej, t. j. s opačným znamienkom, než by mala mať podľa meraní v austrálskych baniach.

Ako je to teda s piatou silou: existuje, neexistuje, aké má znamienko? Má snád pravdu Nieto so spolupracovníkmi z losangeleského laboratória, ktorý tvrdí, že nie je jedna dodatočná sila, ale sú dve, jedna príťažlivá a druhá odpudivá [10]? Predstava štyroch interakcií pochádza z obdobia pred 50 rokmi, keď bolo známych iba niekoľko elementárnych častíc (protón, neutrón, elektrón, fotón, pozitron, neutríno a Yukawov mezón). Neskôr sa elementárne častice, podobne ako synovia izraelskí v egyptskom zajatí „plodili a hemžili a množili a mocneli prenáramne, a naplnená bola nimi Zem“. Nehrozí

snád, že se to isté stane s interakciami medzi elementárnymi časticami? Väčšina fyzikov si asi myslí, že štyri interakcie stačia a žiadne ďalšie pridávať netreba. Ale myšlienka piatej sily už zaujala predstavivosť experimentálnych fyzikov. Preto je isté, že honba za piatou silou bude pokračovať.

*Ďakujem prof. Lukáčovi, DrSc., ktorý prišiel s nápadom na napísanie tohto článku.*

#### Literatúra

- [1] FISCHBACH, E., et al.: Phys. Rev. Lett. 56 (1986), 3.
- [2] STACEY, F. D., et al.: Rev. Mod. Phys. 59 (1987), 157.
- [3] ECKHARDT, D. H.: Phys. Rev. Lett. 56 (1986), 2868.
- [4] STUBBS, C. W., et al.: Phys. Rev. Lett. 58 (1987), 1070.
- [5] THIEBERGER, P.: Phys. Rev. Lett. 58 (1987), 1066.
- [6] BOYNTON, P., et al.: Phys. Rev. Lett. 59 (1987), 1385.
- [7] NIEBAUER, T. N., et al.: Phys. Rev. Lett. 59 (1987), 609.
- [8] ECKHARDT, D. H., et al.: Phys. Rev. Lett. 60 (1988), 2567.
- [9] ANDER, M. E., et al.: Phys. Rev. Lett. 62 (1989), 985.
- [10] NIETO, M. M., et al.: Phys. Rev. D 36 (1987), 3684.

## Maďarský matematik rozřešil kvadraturu kruhu

Barry A. Cipra

*Kreslil a počítal ve dne v noci, pokrýval hromady papíru obrázky, písmenkami, číslicemi, algebraickými symboly a jeho zhnědlý obličej, obličej zdánlivě nezdravého člověka, měl vizionářský a zažraný výraz maniaka. Jeho rozhovor se týkal výlučně a se strašlivou jednotvárností poměrového čísla pi ...*

Thomas Mann: *Kouzelný vrch\**

Pokud se vám zdá, že fraktály a podivné atraktory jsou fantasticky vyhlížející množiny, vyčkejte s úsudkem a podívejte se, s čím si pohrával Miklós Laczkovich. Tento matematik z budapeštské univerzity přišel na to, jak rozřezat kruh na mnoho nepředstavitelně podivných kousků, kterými umí pohybovat tak, že z nich složí čtverec přesně stejného obsahu – krátce řečeno, provedl kvadraturu kruhu!

Než vznesete námitku, že kvadraturu kruhu nelze provést a že jenom blázní (jako státní zástupce Paravant v *Kouzelném vrchu*) se o ni pokoušejí, připomeňme, že problém,

---

\*) Překlad PAVEL LEVIT a JAN ZAHRADNÍČEK. Nakladatelství Melantrich A. S., Praha, 1930. (Kniha druhá, s. 355)

---

BARRY A. CIPRA: *Hungarian Mathematician Squares the Circle*. Reprinted from SIAM NEWS, Vol. 22, No. 5, September 1989, p. 19. Přeložil IVAN NETUKA.

© Society for Industrial and Applied Mathematics, 1989.