

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

S. Chandrasekhar

Krása a hľadanie krásy vo vede

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 31 (1986), No. 4, 193--202

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138885>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1986

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>

Krása a hľadanie krásy vo vede

S. Chandrasekhar

Veda podobne ako umenie pripúšťa estetické kritériá; hľadáme teórie, ktoré sa vyznačujú „pravým súladom častí navzájom a s celkom“, pričom prejavujú ešte „určitú podivnosť vo svojej proporcii“.

Téma, ku ktorej sa mám na požiadanie vyjadriť, je ťažká, ak sa má človek vyhnúť situácii hovoriť o veci triviálne a banálne. Okrem toho moje znalosti a skúsenosti, aké mám, nútia ma obmedziť sa výlučne na teoretické aspekty fyzikálnych vied. A to sú obmedzenia najvážnejšie. Musím preto začať prosbou o vašu trpezlivosť a zhovievavosť.

Všetci sme vnímaví na krásu prírody. Nie je prehnané tvrdenie, že určité rysy tejto krásy obsahujú aj prírodné vedy. Ale možno klásť otázku, do akej miery je hľadanie krásy cieľom pri sledovaní vedy. K tejto otázke sa Poincaré stavia jednoznačne. V jednej zo svojich esejí napísal:

Vedec neskúma prírodu preto, že je to užitočné. Skúma ju, lebo v nej nachádza radosť; a nachádza v nej radosť, lebo je krásna. Keby príroda nebola krásna, nebola by hodná poznávania a život by nebol hodný žitia ... Mám na mysli intímnu krásu, ktorá vychádza z harmonického poriadku jej častí a ktorú možno uchopiť čírym rozumom.

A Poincaré pokračuje:

Pretože jednoduchosť a nesmiernosť sú obidve krásne, vyhľadávame väčšinou skutočnosti jednoduché a nesmierne, a tak nachádzame radosť raz v pozorovaní gigantických dráh hviezd, inokedy v pozorovaní cez mikroskop čohosi malého, čo je tiež nesmierne, a napokon v hľadaní stôp minulosti v geologických obdobiach, ktoré nás lákajú svojou odľahlosťou.

Komentujúc tieto Poincarého názory, J. W. N. Sullivan, autor výstižných životopisov Newtona a Beethovena, písal (v *Aténeu*, máj 1919):

Keďže prvoradou úlohou vedeckej teórie je vyjadrovať harmónie, ktoré, ako zisťujeme, existujú v prírode, hneď badáme, že tieto teórie musia mať svoju estetickú hodnotu. Miera úspechu vedeckej teórie je v skutočnosti mierou jej estetickej hodnoty, pretože vedecká teória je mierou toho, do akého stupňa sa podarilo zaviesť harmóniu tam, kde bol predtým chaos.

Fakt, že nachádzame oprávnenie vedeckej teórie a tým aj oprávnenie vedeckej metódy, spočíva v estetickej hodnote teórie. Keďže fakty bez zákonov by neboli

S. CHANDRASEKHAR: *Beauty and the Quest for Beauty in Science*. Přeložili IVETA MANÍKOVÁ a JÁN WEISS. Obrázky podle amerického originálu pořídila redakce.

Reprinted with permission from *Physics Today*, Vol. 32, N. 7, pp. 25—30 (1979).

© 1979 American Institute of Physics.

zaujímavé a zákony bez teórií by mali zväčša len praktickú použiteľnosť, vidíme, že motívy, ktoré vedú vedca, sú od začiatku prejavmi estetického podnetu ... Miera, v ktorej sa vede nedostáva umenia, je miera, v ktorej je veda neúplná ako veda ...

V precitenej eseji „Umenie a veda“ významný umelecký kritik Roger Fry (ktorého snáď niektorí poznáte z jeho životopisu od Virginie Woolfovej) začína citovaním Sullivana a pokračuje:

Sullivan smelo vraví: „Skutočnosť, že sa nájde oprávnenie vedeckej teórie a tým aj oprávnenie vedeckej metódy, spočíva v jej estetickej hodnote.“ Rád by som na tomto mieste položil Sullivanovi otázku, či teória, ktorá ignoruje fakty, má pre vedu rovnakú cenu ako teória, ktorá je v súlade s faktami. Predpokladám, že by povedal NIE; a ešte aj teraz si myslím, že by to nebola výlučne estetická príčina, prečo by ju nemala.

Vrátim sa k otázke, ktorú Roger Fry nadhadzuje, a naznačím inú odpoveď, než by podľa Frya mohol dať Sullivan. Teraz však budem pokračovať vo Fryových úvahách, porovnávajúc podnety umelca a vedca.

Od najvlastnejších základov púheho vnímania až po najvyššiu snahu o stváranie každé štádium umeleckej tvorby nevyhnutne sprevádza radosť: bez nej nemôže tento proces prebiehať ... Je tiež pravda, že poznávanie nevyhnutnosti je v myslení bežne sprevádzané radostnou emóciou a že túžba po tejto mentálnej radosť je motivujúcou silou, ktorá pobáda k tvorbe vedeckej teórie. Vo vede nevyhnutnosť vzťahov zostáva stále istá a demonštrovateľná, či ju už pocit sprevádza alebo nie, zatiaľ čo v umení estetický súlad jednoducho nejestvuje bez citového stavu. V umení harmónia nie je pravá, ak nie je prežívaná s citom. Poznávanie vzťahov v umení je bezprostredné a citové – snáď by sme to mali pokladať za napodiv blízke tým prípadom matematických géniov, ktorí majú bezprostrednú intuíciu matematických vzťahov, avšak je nad ich sily tieto vzťahy dokázať ...

Dovoľte mi prejsť od týchto všeobecných vecí k jednotlivým prípadom toho, čo považujú vedci za krásne.

Môj prvý príklad sa bude týkať Fryovho poznatku, čo matematickí géniovia vnímajú ako pravdu bez zjavnej príčiny. Indický matematik Srinivasa Ramanujan (ktorého dramatické objavenie sa v matematickej sláve roku 1915 možno niektorí z vás poznáte) zanechal veľké množstvo zápiskov (z nich jeden bol objavený len pred niekoľkými rokmi). V týchto zápisoch Ramanujan zachytil niekoľko stovák vzorcov a identít. Mnohé z nich boli dokázané iba nedávno metódami, ktoré Ramanujan nemohol poznať. G. N. Watson, ktorý sa niekoľko rokov venoval dokazovaniu mnohých Ramanujanových identít, napísal:

Štúdium Ramanujanovej práce a problém, ktorý pritom vzniká, nevyhnutne pripomína Laméovu poznámku, že keď čítame Hermiteove články o modulárnych funkciách, naskakuje nám husia koža. S väčšou dávkou rozvláčnosti vyjadril by som bližšie svoj vlastný postoj konštatovaním, že formula typu

$$\int_0^{\infty} e^{-3\pi x^2} \frac{\sinh \pi x}{\sinh 3\pi x} dx =$$

$$= \frac{1}{e^{2\pi/3} \sqrt{3}} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-2n(n+1)\pi} (1 + e^{-\pi})^{-2} \cdot (1 + e^{-3\pi})^{-2} \dots (1 + e^{-(2n+1)\pi})^{-2}$$

mi poskytuje vzrušenie, ktoré sa nelíši od zážitku, aký cítim, keď vstúpim do kaplnky Mediciovcov a vidím pred sebou prísne jednoduchú krásu „Dňa“, „Noci“, „Súmraku“ a „Svitania“, ktoré Michelangelo zanechal na hrobkách Giuliana a Lorenza de Mediciovcov.*)

Príklad úplne iného typu poskytuje Boltzmannova reakcia na jeden z Maxwellových článkov o dynamickej teórii plynov, kde Maxwell ukazuje, ako možno presne riešiť problém transportných koeficientov v plyne, v ktorom sa medzimolekulová sila mení ako prevrátená hodnota piatej mocniny medzimolekulovej vzdialenosti. Tu je Boltzmann:

Tak ako hudobník môže poznať svojho Mozarta, Beethovena, alebo Schuberta po vypočutí si niekoľkých prvých taktov, i matematik spozná svojho Cauchyho, Gaussa, Jacobiho, Helmholtza alebo Kirchhoffa po niekoľkých prvých stránkach. Francúzski pisatelia sa prejavujú svojou extrémnou formálnou eleganciou, kým Angličania, osobitne Maxwell, svojím dramatickým zmyslom. Kto by nepoznal napríklad Maxwellovu prácu o jeho dynamickej teórii plynov? ... Spočiatku sa majestátne predstavia na scéne variácie rýchlostí, potom z jednej strany javišťa vstupujú stavové rovnice a z druhej strany pohybové rovnice v centrálnom poli. Vyššie a vyššie sa vznáša chaos formúl. Náhle počujete akoby z kotlových bubnov štyri údery „dosaď $n = 5$ “. Zlý duch V (relatívna rýchlosť dvoch molekúl) mizne; a tak ako v hudbe, keď dosiaľ dominujúci basový tón sa náhle stlmí, ten, čo sa zdal nepremožiteľný, je teraz premožený, ako keby zasiahli magické sily ... Teraz nie je vhodná chvíľa, aby sme sa pýtali, prečo táto alebo tamtá substitúcia. Pokiaľ ste sa nenechali unášať dejom, odložte text. Maxwell nepísal programovú hudbu s vysvetlivkami ... Jeden výsledok nasleduje za druhým v rýchlom slede, až nakoniec ako neočakávané vyvrcholenie dospievame k podmienkam pre tepelnú rovnováhu spolu s výrazmi pre transportné koeficienty. Potom opona padá!

Začal som týmito dvoma príkladmi, aby som zdôraznil, že človek ani nemusí zháňať rozsiahlu dokumentáciu, aby našiel krásu vo vede. Ale najobsiahlejšie dokumentácie poskytujú najlepšie príklady. Pouvažujem o dvoch z nich.

Einsteinov objav všeobecnej teórie relativity opísal Hermann Weyl ako vrcholný príklad hlbavej mysle, kým Landau a Lifšic považujú túto teóriu za pravdepodobne najkrajšiu zo všetkých existujúcich fyzikálnych teórií. A Einstein sám napísal na konci svojho prvého článku o svojich poľných rovniciach: „Kto plne chápe túto teóriu, sotva môže uniknúť jej čaru.“ Neskôr sa vrátim k úvahe, v čom spočíva zdroj tejto magickej sily. Nateraz chcem, aby vynikli súbežne s Einsteinovou reakciou na svoju teóriu Heisenbergove pocity vo chvíli, keď objavil kvantovú mechaniku. Máme šťastie, že máme o tom Heisenbergovo vlastné líčenie. Píše:

Stalo sa mi jasné, čo má presne nahradiť Bohrove-Sommerfeldove kvantové podmienky v atómovej fyzike, ktorá nepracuje s inými než s pozorovateľnými veličinami.

*) Pozri obrázky na kriedovej prílohe uprostred čísla.

Ukázalo sa tiež samozrejme, že som s týmto dodatočným predpokladom zaviedol do teórie kľúčové obmedzenie. Potom som si všimol, že neexistuje žiadna záruka, že ... bude platiť princíp zachovania energie. A tak som sa sústredil na demonštrovanie, že zákon zachovania platí; a jedného večera som dospel k bodu, keď som bol schopný určiť jednotlivé členy v energetickej tabuľke (matici energie) ... Keď sa zdalo, že prvé členy spĺňajú princíp energie, dosť ma to vzrušilo a začal som robiť veľa aritmetických chýb. Tak sa stalo, že kým som dospel ku konečnému výsledku svojich výpočtov, bolo už temer tri hodiny ráno. Princíp zachovania energie platil pre všetky členy a nemohol som už vôbec pochybovať o matematickej konzistentnosti a spätosti toho druhu kvantovej mechaniky, ktorému som zasvätil svoje výpočty. Bol som hlboko vzrušený. Cítil som, že cez povrch atómových javov som hľadel na podivne krásny interiér a v mysli sa ma chytal takmer závrat, že teraz som dôkladne preskúmal bohatstvo matematickej štruktúry prírody, tak ušľachtilo rozložené predom mnou.

V súvislosti s týmito výpoveďami Einsteina a Heisenberga o svojich objavoch je zaujímavé pripomenúť si nasledujúci rozhovor medzi Heisenbergom a Einsteinom, ktorý zaznamenal Heisenberg. Tu je úryvok:

Ak nás príroda vedie k matematickým formám veľkej jednoduchosti a krásy — pod formami rozumiem kompaktné systémy hypotéz, axiém atď. — k formám, s ktorými sa nikto predtým nestretol, nemôžeme sa ubrániť názoru, že sú „pravé“, že prezrádzajú rýdzy charakter prírody ... Určite to tiež cítite: takmer desivá jednoduchosť a celostnosť vzťahov, ktoré náhle príroda rozprestiera pred nami a na ktoré nikto z nás nebol ani najmenej pripravený.

Tieto Heisenbergove poznámky našli odozvu v nasledujúcich Keatsových veršoch:*)

„Krása je pravda,
pravda krásna je!“
Toť všetko, čo vieš,
a čo vedieť treba.

Na tomto mieste by som sa rád vrátil k otázke Rogera Frya, ktorú som už skôr uviedol, čo by mal totiž človek urobiť s teóriou, ktorá je esteticky vyhovujúca, o ktorej si ale myslíme, že nie je správna.

Freeman Dyson citoval Weyla, ako mu vravel: „Moja práca sa vždy pokúša zjednotiť pravdivé s krásnym; ale keď si mám vybrať jedno alebo druhé, obvyčajne si vyberiem krásne.“ Spýtal som sa Dysona, či Weyl uviedol príklad, kde obetoval pravdu krásne. Čítal som, že príklad, ktorý Weyl uvádzal, bola jeho kalibračná teória gravitácie, ktorú vypracoval vo svojom diele *Priestor — čas — hmota*. Weyl sa zrejme presvedčil, že táto teória nie je správna ako gravitačná teória; ale bola ešte natoľko krásna, že sa jej jednoducho nechcel vzdať, a tak si ju udržoval pri živote kvôli krásne. Ale omnoho neskôr sa ukázalo, keď bol do kvantovej elektrodynamiky zavedený formalizmus kalibračnej teórie, že Weylov inštinkt bol napokon správny.

*) Vzaté zo zbierky JOHN KEATS *Obrysy krásy* (Óda na grécku vázu), v preklade HANY ŽANTOVSKÉJ, Mladá fronta, 1977 (pozn. prekl.).

Ďalší príklad, o ktorom sa Weyl nezmienil, ale ktorému Dyson venoval pozornosť, je Weylova dvojzložková relativistická vlnová rovnica neutrína. Weyl objavil túto rovnicu, ale fyzici ju ignorovali skoro tridsať rokov, pretože narušala invarianciu parity. A opäť sa ukázalo, že Weylov inštinkt bol správny.

Máme teda dôkaz, že teória rozvinutá vedcom s mimoriadne dobre vyvinutou estetickou vnímavosťou môže sa ukázať správnou, i keď v čase svojej formulácie ešte sa nezdala ňou byť. Ako Keats dávno napísal, „Čo obrazotvornosť chápe ako krásu, musí byť pravdou — či už predtým existovala, alebo nie.“

Je ozaj neuveriteľným faktom, že to, čo Iudská myseľ vo svojom najhlbšom a najzákladnejšom chápe ako krásne, nachádza svoju realizáciu v prírode.

Čo je pochopiteľné, je tiež krásne.

Môžeme sa právom pýtať: ako to je, že krása v exaktných vedách stáva sa poznateľnou ešte skôr, než ju pochopíme v detailoch, skôr, než ju možno racionálne demonštrovať? V čom spočíva táto schopnosť osvietenia?

Tieto otázky privádzali do rozpakov mnohých mysliteľov od najstarších čias. A tak Heisenberg venoval pozornosť práve v tejto súvislosti nasledujúcej myšlienke, ktorú Platón vyjadril v diele *Phaedrus*:

Duša žasne a chce sa pri pohľade na krásu, pretože cíti, že sa v nej vyvoláva čosi, čo jej nebolo odnikiaľ sprostredkované zmyslami, ale čo stále už kdesi ležalo hlboko v oblasti podvedomia.

Tá istá myšlienka je vyjadrená v tomto aforizme Dávida Huma: „Krása vo veciach existuje v myšli, ktorá o nich rozjíma.“

Na Keplera tak zapôsobila harmónia prírody, ako sa mu odhaľovala pri objavovaní zákonov pohybu planét, že vo svojom diele *Harmónia sveta* písal:

Teraz by som sa mohol spýtať, ako tento dar duše, ktorý sa nezúčastňuje na pojmovom myslení, a preto nemôže mať predchádzajúcu znalosť o harmonických vzťahoch, je schopný poznávať, čo je dané vo vonkajšom svete ... Na to odpovedám, že všetky číre idey alebo prototypy harmónie, o akých sme hovorili, sú vnútorne prítomné v tých, ktorí sú usposobení ich chápať. Ale tieto idey a prototypy sa nedostávajú do vedomia nejakým pojmovým procesom, ale sú skôr produktom určitého druhu inštinktívnej intuície a sú vlastné týmto jedincom.

Rozvíjajúc Keplerove myšlienky, nie ani tak dávno, čo Pauli napísal:

Most, ktorý vedie od pôvodne neusporiadaných údajov skúsenosti k ideám, spočíva na určitých predhistorických obrazoch, dávno existujúcich v duši — Keplerových prototypoch. Tieto dávnovéky obrazy by sme nemali hľadať vo sfére vedomia, nemali by byť spájané so špecifickými racionálne formulovateľnými myšlienkami. Ide tu skôr o otázku foriem, patriacich do oblasti podvedomia Iudskej duše, obrazov silného citového obsahu, ktoré nie sú produktom myslenia, ale ktoré človek uzrieva skutočne len ako obrazy. Radosť, ktorú človek okúsi, keď si uvedomuje, že získal nový poznatok, vzniká z overenia, že takéto dávno existujúce obrazy sa zhodujú so správaním sa vonkajších objektov ...

Pauli uzatvára:

Nemali by sme nikdy tvrdiť, že tézy, stanovené rozumovou formuláciou, sú jedinými možnými predpokladmi ľudského zdôvodňovania.

Ukazuje sa, že táto zhoda medzi dávno existujúcimi obrazmi a vonkajšou realitou, na ktorú sa Pauli odvoláva, len čo je intenzívne zakúsená, má za následok, že vytvára prehnajú dôveru vo vlastný úsudok a hodnotiace schopnosti u človeka, ktorý zažil takúto skúsenosť. Pretože ako ináč možno pochopiť výroky, ktoré vyslovili niektorí veľkí vedci:

– „To sa zbláznila termodynamika“ (podľa lorda Kelvina, jedného zo zakladateľov termodynamiky, komentujúceho Boltzmannovo odvodenie Stefanovho zákona).

– „Pozeráte sa na to z hľadiska hviezd, ja sa na to pozerám z hľadiska Prírody“ (Eddington pri polemicknej diskusii so mnou).

– „Nesúhlasím s väčšinou fyzikov súčasnosti práve v tomto bode“ (Dirac v spojitosti so svojimi názormi na dosiaľ existujúce metódy renormalizácie v kvantovej elektrodynamike).

– „Naozaj sa zdalo, ako keby sme mali prvýkrát rámeč dostatočne široký na to, aby obsahoval úplné spektrum elementárnych častíc a ich interakcií, a tak sa splnil môj sen z roku 1933“ (Heisenberg roku 1957 o svojom neúspešnom pokuse vybudovať spoločne s Paulim jednotnú teóriu poľa).

– „Boh nehádza kocky“ (Einstein); alebo aj viac provokačne:

– „Keď premýšľam o fyzikálnej teórii, pýtam sa sám seba, či by som stvoril Vesmír týmto spôsobom, keby som bol Bohom“ (tiež Einstein).

V kontexte s týmito poslednými Einsteinovými výroky je dobré pripomenúť si Bohrovo pobúrenie „Nie je našou vecou predpisovať Bohu, ako by mal spravovať svet!“

Je to snáď práve v tejto nadbytočnej dôvere, z ktorej sa musíme pokúsiť pochopiť relatívnu neplodnosť kedysi veľkých géniov. Preto, ako Claude Bernard povedal, „Tí, čo majú prehnajú vieru vo svoje idey, nehodia sa na to, aby robili objavy.“ Zjavne kráčam po nebezpečnej pôde. Ale dáva mi to príležitosť venovať pozornosť faktu, ktorý bol pre mňa zdrojom značnej záhady: súvisí s veľmi rozdielnymi cestami – aspoň sa mi takými zdajú byť –, ako rastú a dozrievajú veľkí spisovatelia, básnici a hudobníci na jednej strane a veľkí vedci na strane druhej.

Nie je nezvyčajné, že ak človek berie do úvahy diela veľkého spisovateľa alebo skladateľa, rozlišuje rané, stredné a posledné obdobie. A takmer vždy platí, že postup od raných k stredným a posledným obdobiám je rastom hĺbky a dokonalosti. V niektorých prípadoch, ako je to v prípade Shakespearea a Beethovena, posledné diela sú najväčšie. Tento fakt pôsobivo opísal J. Dover Wilson vo svojom líčení rastu Shakespeareovho umenia v jeho veľkých tragédiách.

Od r. 1601 do r. 1608 bol uchvátený tragédiou. Dráhu, ktorou kráčal počas týchto ôsmich rokov, možno prirovnať ku horskej ceste, ktorá, vychádzajúc pokojne z planiny, stúpa, stále sa zužuje, až kým sa na vrchole výstupu nescvrkne do ostrého hrebeňa, mrazivého štítu s priepasťou na každej strane, a potom, ako sa chodník rozširuje a postupne zvažuje ďaleko do doliny, opäť narastá istota pevnej pôdy pod nohami.

Osem hier vytvára tento tragický smer. Prvá, *Július Cézar*, napísaná vlastne krátko pred tragickým obdobím, je tragédiou slabosti, nie zla. V *Hamletovi* sú sily zla aktívne a nekalé, hoci prevažujúcou črtou je ešte slabosť charakteru. *Otello* nám dáva Shakespeareovo najvýstižnejšie líčenie charakteru úplne zlého a súčasne Jagova obeť je bezúhonná – ľudská slabosť nesmie sa už ďalej deliť o zodpovednosť s nebesami. *Kráľ Lear* vedie nás priamo na okraj priepasti, pretože horor sa tu hromadí na horor a lútosť na lútosť, aby sa vytvoril najväčší monument ľudského utrpenia a zúfalstva vo svetovej literatúre ... Shakespeare podišiel v *Learovi* veľmi blízko k šialenstvu.

Ale on sa hnal ďalej. Postupne nasledovali *Macbeth*, *Antónius a Kleopatra* (jedno z najväčších Shakespeareových diel) a *Coriolanus*. A Dover Wilson sa pýta: „Ako to, že Shakespeare uhájil svoj zdravý rozum v tomto jednom z najnebezpečnejších a najťažších dobrodružstiev podniknutom duchom človeka?“ Shakespeare vydržal; a vydržal len preto, aby svoje veľké tragédie vystriedal takými krásnymi hrami ako sú *Zimná rozprávka* a *Búrka*.

Obávam sa, že som sa hádam príliš odchytil od témy pri podrobnejšom opise rastu Shakespeareovho umenia. Ale chcel som vám zdôrazniť dôležitosť tohto vývinu. A som si istý, že sa podobne možno vyjadriť aj o Beethovenových posledných dielach, ku ktorým patria *Klavírna sonáta*, *Missa solemnis* a predovšetkým jeho posledné kvarteta.

Kým Shakespeare a Beethoven sú pravdepodobne jediní, čo kráčali po strmom horskom chrbte na samom konci svojho života a vydržali, existujú iní, ktorí ilustrujú na tak trochu skromnejšej báze ten istý vzostup k vyšším vrcholom dokonalosti. Ale nespomínam si na jediný príklad vedca, o ktorom by sa mohlo povedať to isté. Jeho rané úspechy sú často jeho poslednými úspechmi. (Tu vylučujem prípady, akými boli Coates, Galois, Abel, Ramanujan a Majorana, ktorí zomreli vo svojej mladosti. V týchto prípadoch nevieme, ako by sa im bolo darilo, keby boli žili po období svojho rozkvetu.) Zdá sa, že vedec nie je schopný, nech je akokoľvek, vydržať stály, nepretržitý vzostup. Prečo je to tak? Nebudem sa ovšem pokúšať odpovedať na tieto otázky, ale prejdem ku konkrétnejším úvahám.

Otázka, o ktorej chcem teraz hovoriť, je, ako môže človek hodnotiť vedecké teórie ako diela umelecké prostriedkami literatúry alebo umeleckej kritiky. Prípad všeobecnej teórie relativity poskytuje dobrý príklad, veď temer každý súhlasí s tým, že je to krásna teória. Myslím, že je užitočné sa spýtať, v čom spočíva zdroj tejto krásy. Myslím, že nám nepomôže odbaviť túto otázku tvrdením, aké napríklad vyslovil (v inom kontexte) Dirac:

Matematická krása nemôže byť definovaná ináč, než je definovaná krása v umení; ale tí, čo študujú matematiku, spravidla nemajú ťažkosti s hodnotením.

Ani si nemyslím, že by sme sa mali uspokojiť napríklad s touto Bornovou poznámkou:

Všeobecná teória relativity mi pripadá ako veľké umelecké dielo, ktoré má obšťastňovať ľudí a byť zďiaľky obdivované.

(V zátvorke poviem celkom úprimne, že neviem, ako sa dívať na túto Bornovu poznámku. Možno len zďiaľky obdivovať všeobecnú teóriu relativity? Nevyžaduje si ona štúdium a rozvíjanie ako ktoréhokoľvek odvetvie fyzikálnych vied?)

Napriek prirodzeným ťažkostiam, s ktorými zápasia takéto diskusie, pokúsim sa objasniť, prečo v nás vyvoláva všeobecná teória relativity estetický vnem a prečo ju považujeme za krásnu. K tomu je nevyhnutné prijať určité kritériá pre krásu. Prijmem dve.

Prvé je kritérium Francisa Bacona:

Niet znamenitej krásy bez toho, aby nemala v sebe istú podivnosť!

(Podivnosť v tomto kontexte znamená „taká výnimočnosť, ktorá vyvoláva úžas a prekvapenie.“)

Druhé kritérium, formulované Heisenbergom, dopĺňa Baconovo:

Krása je pravý súlad častí navzájom a s celkom.

Že všeobecná teória relativity obsahuje isté podivuhodné črty vo svojej forme v zmysle Bacona, je zrejmé. Spočíva predovšetkým v spojovaní, v prirovnávaní dvoch fundamentálnych pojmov, ktoré dovtedy boli považované za úplne nezávislé: pojmu priestor a čas na jednej strane a pojmu hmota a pohyb na strane druhej. Je to naozaj ako písal Pauli r. 1919: „Geometria priestoročasu nie je daná; určuje ju hmota a jej pohyb.“ V zlučení gravitácie a metriky, ktoré nasledovalo, dosiahol Einstein r. 1915 to, čo prorokoval Riemann r. 1854, že totiž metrické pole musí príčinne súvisieť s hmotou a jej pohybom.

Najväčšia podivnosť v štruktúre snád spočíva v našom zmenenom pohľade na priestoročas. Ako písal Eddington: „Priestor nie je množstvo bodov vedľa seba; je to množstvo vzdialeností spojených navzájom.“

Existuje aj ďalší aspekt Einsteinovho objavu všeobecnej teórie relativity, ktorý je tiež divom. Je to tento:

Môžeme ľahko pripustiť, že Newtonove gravitačné zákony si vyžadujú úpravu v tom zmysle, aby brali do úvahy konečnosť rýchlosti svetla a nepripúšťali okamžité pôsobenie na diaľku. Ak toto platí, potom plynie, že odchýlky planetárnych dráh od Newtonových predpovedí musia byť kvadratické vo v/c , kde v je miera rýchlosti planéty na svojej orbite a c je rýchlosť svetla. U planetárnych sústav nemôžu byť tieto odchýlky i v najpriaznivejších prípadoch väčšie než niekoľko milióntin. Podľa toho by bolo úplne stačilo, keby bol Einstein našiel teóriu, ktorá by umožňovala poruchovým prístupom určiť takéto malé odchýlky od predpovedí Newtonovej teórie. To by mal byť normálny spôsob. Ale to nebola Einsteinova cesta: Einstein hľadal namiesto toho exaktnú teóriu. A došiel k svojim poňým rovniciam na základe kvalitatívnych argumentov fyzikálnej povahy kombinovaných s bezchybným zmyslom pre matematickú eleganciu a jednoduchosť. Fakt, že Einstein bol schopný dôjsť ku kompletnej fyzikálnej teórii takýmto špekulatívnym uvažovaním, je dôvodom, prečo, ak sledujeme jeho myšlienky, cítime „ako keby sa zrútil múr zastierajúci pravdu“ (Weyl).

Predchádzajúce poznámky sa vzťahujú iba na základy teórie, vedúcej k poňým rovniciam. Teraz sa musíme spýtať, či pri ďalšom skúmaní teória spĺňa aj druhé kritérium pre krásu, totiž „súlad častí navzájom a s celkom“. Najlepšie spĺňuje teória toto kritérium vtedy, ak odhaľuje na každom stupni „podivnosť v štruktúre“. Dovoľte mi uviesť pár ilustrácií.

Najprv uvažujme riešenia, ktoré pripúšťa teória relativity pre čierne diery. Ako je známe, čierne diery rozdeľujú trojrozmerný priestor na dve oblasti, vnútornú oblasť, ohraničenú hladkou dvojrozmernou „nulovou“ plochou, ktorá (vnútorná oblasť) je nekomunikovateľná s priestorom mimo nej, pričom tento priestor je naopak asymptoticky plochý. Je prekvapujúce, že v rámci týchto veľmi jednoduchých a nevyhnutných obmedzení pripúšťa všeobecná teória relativity, aby stacionárne čierne diery mali práve jedinú dvojparametrovú množinu riešení. Je to Kerrov súbor riešení, v ktorom sú dvoma parametrami hmotnosť a moment hybnosti čiernej diery. Čo je ešte pozoruhodnejšie, metriku pre tento súbor riešení poznáme explicitne. Kerrova metrika je osovosymetrická a predstavuje čiernu diery rotujúcu okolo osi symetrie.

Osovosymetrický charakter Kerrovej geometrie zaručuje celkom jasne, že energia testovacej častice, ktorá opisuje geodetickú čiaru, ako aj jej zložka momentu hybnosti v smere osi symetrie, budú sa zachovávať. Okrem týchto dvoch zachovávajúcich sa veličín Kerrova geometria nečakane pripúšťa, aby mala testovacia častica tretiu zachovávanú veličinu (objavenú Brandonom Carterom). V dôsledku toho Hamiltonova-Jacobiho rovnica opisujúca pohyb testovacej častice je separovateľná vo svojich premenných; a riešenie geodetických rovníc možno zredukovať na kvadratury. Bolo to dosť prekvapujúce. Ale ešte prekvapujúcejšie je, že všetky rovnice matematickej fyziky – skalárna vlnová rovnica, Maxwellove rovnice, Diracova rovnica a rovnice opisujúce šírenie gravitačných vln – všetky sú separovateľné v Kerrovej geometrii (práve tak ako sú separovateľné v Minkovského geometrii), a preto sa môžu explicitne riešiť.

Podobné prekvapenie prežívame, keď si uvedomujeme, že Penrosove a Hawkingove teorémy o singularite si vyžadujú, aby mal náš vesmír nevyhnutne svoj počiatok v singularite. A tak v dôsledku toho sme nútení zamýšľať sa nad charakterom fyzikálnych procesov, ktoré sa budú vyskytovať pri hustotách rádu 10^{93} g/cm³, v objemoch s lineárnymi rozmermi rádu 10^{-33} cm a v časových intervaloch rádu 10^{-44} s – čo sú rozmery, ktoré musia uviesť do údivu každého čitateľa.

Alebo zas Hawkingova teoréma, že povrchová oblasť čiernej diery musí vždy rásť, naznačuje možnosť stotožnenia obsahu povrchovej oblasti s termodynamickou entropiou čiernej diery; a to zas vedie k intímnej spojitosti medzi termodynamikou, geometriou a gravitáciou.

Vo všetkom tom zrejme nechýba podivnosť v štruktúre!

Všetko, čo som doteraz povedal, je v súlade s dvoma kritériami krásy, z ktorých som vychádzal. Ale existuje ešte ďalší aspekt veci, ktorý ostáva na uváženie.

Keď Henry Moore navštívil asi pred desiatimi rokmi chicagskú univerzitu, mal som príležitosť spýtať sa ho, ako by sa mal človek dívať na sochy: zďaleka alebo zblízka. Moorova odpoveď znela, že najväčšie sochy môžu sa prezeráť – vlastne mali by sa prezeráť – zo všetkých vzdialeností, keďže nové aspekty krásy sa objavujú v každom merítke. Moore uviedol ako príklad Michelangelove sochy. Tým istým spôsobom odokrýva všeobecná teória relativity podivuhodné momenty v proporciách na ktoromkoľvek stupni, kde možno skúmať ich dôsledky. Jedna ilustrácia iste postačí.

Ak rozšírime Einsteinove rovnice na Einsteinove-Maxwellove rovnice, t. j. poľné rovnice zodpovedajúce priestoru rozšírime o rovnice elektromagnetického poľa a hľadáme sféricky symetrické riešenia, dostaneme riešenie opisujúce čiernu diery s hmotnosťou

a elektrickým nábojom. Toto riešenie objavili Reissner a Nordström ako zovšeobecnenie známeho Schwarzschildovho riešenia. Vďaka náboju čiernej diery, ak elektromagnetická vlna dopadá na čiernu dieru, je jasné, že určitá časť dopadajúcej elektromagnetickej energie bude sa odrážať späť vo forme gravitačných vln. Ak naopak gravitačná vlna dopadá na čiernu dieru, istý zlomok dopadajúcej gravitačnej energie sa odrazí späť vo forme elektromagnetických vln. Pozoruhodným faktom je, že tieto dva zlomky energie sú úplne identické, čo platí pre všetky frekvencie. Takýto výsledok sa neočakával a jeho základnú príčinu ešte stále nepoznáme. Tento príklad ilustruje, ako sa odhaľuje podivnosť vo formách pomocou všeobecnej teórie relativity na všetkých stupňoch bádania. A to je fakt, ktorý viac než akýkoľvek iný prispieva k neporovnateľnej kráse všeobecnej teórie relativity.

Moje poznámky sa dosiaľ obmedzovali na to, čo všetko môžeme pokladať za veľké idey vytvorené veľkými duchmi. Z toho však nevyplýva, že krása sa zakúša len v súvislosti s veľkými myšlienkami a prostredníctvom veľkých duchov. Toto tvrdenie nie je o nič pravdivejšie ako mienka, že radosť z tvorivosti sa obmedzuje len na niekoľko šťastných. Túto radosť môže dosiahnuť naozaj každý z nás za predpokladu, že sme uspôsobení na vnímanie podivnosti, pokiaľ ide o proporcie a súlad častí navzájom a s celkom. A existuje aj spokojnosť, ktorá sa získa zo súladného usporiadania nejakej oblasti vedy, aby v nej vládol poriadok, štýl a spätosť. Príkladmi takéhoto usporiadania sú Jacobiho *Vorlesungen über Dynamik*, Boltzmannove *Vorlesungen über Gastheorie*, Sommerfeldova *Atombau und Spektrallinien*, Diracove *Principles of Quantum Mechanics* a rôzne skvosty výkladu, ktoré napísal Schrödinger vo svojich posledných rokoch. Tieto knihy zobrazujú dúhovými farbami hmotné javy, cez ktoré presvitá (ako hovoril Plotinus) večná nádhera.

Skončil by som hádam povzbudením, aby každý z nás dosiahol spokojnosť svojimi vlastnými skromnými spôsobmi pri hľadaní krásy vo vede, ako tí hudci vo *Vlnách* od Virginie Woolfovej:

Je tu štvorec; je tu obdĺžnik. Hudobníci berú štvorec a stavajú ho na obdĺžnik. Umiestňujú ho veľmi presne; vzniká dokonalý príbytok. Máločo zostáva pomimo. Teraz vidno stavbu; zreteľne sa tu črtá, čo je iba v počiatkoch; nie sme takí rozliční, ani takí zlí; zostrojili sme obdĺžniky a postavili ich na štvorce. To je naše víťazstvo, to je naša útecha.*)

*) Z knihy: VIRGINIA WOOLFOVÁ *Pani Dallowayová — K majáku — Vlny*, v preklade M. BREZNICKÉHO, J. VOJTKA a P. VILIKOVSKÉHO, Tatran, 1983, str. 412 (pozn. prekl.).

Údaje o autorovi

S. Chandrasekhar je profesorom na Ústave astronómie a fyziky a na Inštitúte Enrika Fermiho chicagskej univerzity. Je laureátom Nobelovej ceny za fyziku pre rok 1983 (spolu s W. A. Fowlerom) za zásadné objavy súvisiace s vývojom hviezd.

Údaje o článku

Podkladom pre tento článok je prednáška, ktorú mal autor na Medzinárodnom sympóziu konanom na počesť Roberta R. Wilsona vo Fermiho národnom laboratóriu urychľovačov 24. 4. 1979.