

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Barry Cipra

Archimedes Andrews a kuličková střela

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 37 (1992), No. 4, 235--241

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137567>

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>

známkou iba, ak získa aspoň 50 % bodov.

Úroveň testu: (4 – najťažší)	Známky, ktoré zaň možno získať: (A – najlepšia známka)
4,3	A, B, C
3,2	C, D, E
2,1	E, F, G

Záverom možno konštatovať, že problematika hodnotenia je v súčasnosti jedným zo spoločných problémov takmer všetkých školských systémov sveta. Je v centre pozornosti praktikov i vedeckých pracovníkov v oblasti didaktiky, pedagogiky, psychológie. Aj pred nami stojí úloha prehodnotiť spôsoby hodnotenia používané v našich školách a pokúsiť sa posunúť ich postupne na úroveň najnovšieho poznania.

- [1] *Assessment in Mathematics Education and its Effects*. Pre-proceedings of the ICMI Conference held on 11–16 April 1991 in Calonge, Spain).
- [2] BELL, A., COSTELLO, J., KUCHEMANN, D.: *A Review of research in Mathematical Education. Part A: Research on Learning and Teaching*. Chapter 12: Evaluation and assessment, pp. 291–307. NFER-Nelson 1983.
- [3] *Mathematics counts. (The Cockcroft report.)* Great Britain. Dpt. of Education and Science (1982). London: HMSO.
- [4] HIRST, A., HIRST, K.: *Proceedings of ICME-6*. Report of the theme group „Evaluation and assessment“, pp. 253–263. Janos Bolyai Mathematical Society, Budapest 1989.
- [5] NISS, M. et. al.: *Assessment in Mathematics Education and its Effects (discussion document for an ICMI Study)*. In: ICMI Bulletin No. 27 (December 1989) et in: „l'Enseignement mathématiques“ (jar 1990).
- [6] RIDGWAY, J.: *Assessing Mathematical Attainment*. NFER-Nelson 1988.

- [7] RIDGWAY, J.: *A Review of Mathematics Tests*. NFER-Nelson 1988.

ARCHIMEDES ANDREWS
A KULIČKOVÁ STŘELA

Barry Cipra

Archimedes Andrews žongloval s golfovými míčky na střeše svého domu. Nikdy předtím jsem ho neviděl dělat něco takového.

„Hej, Einsteine, vylez nahoru!“ zavolal.

Dovolte mi nejprve něco vysvětlit. Ve skutečnosti se nejmenuji Einstein. Takto mi začal přezdívat od jisté doby Archimedes. Zdali je přezdívka myšlena jako kompliment nebo jako sarkasmus bývá různé, někdy i během jediného rozhovoru.

Pokud je mi známo, „Archimedes“ se skutečně jmenuje křestním jménem Archimedes.

„Tak polez nahoru,“ vyzval mě znovu.

Archimedův dům je jednoposchodový, má strmou střechu skrývající mansardu, kde Archimedes spí. Jak to Archimedes dokázal, že po střeše neuklouzl, jsem nepochopil, ale měl jsem skličující pocit, že se to mám právě dozvědět.

„Kde je žebřík?“ opáčil jsem.

„Žebřík není,“ odpověděl Archimedes zamyšleně, jakoby hovořil ke svým golfovým míčkům. „Jdi dokola zadem.“

Tak jsem šel. Co jsem tam našel, mě vyděsilo. Přesto, co mi řekl Archimedes, stále jsem doufal, že tam najdu žebřík. Očekával jsem v nejhorsím lano, mřížoví

Barry Cipra: *Archimedes Andrews and the Ball-Bearing Missile*. The Mathematical Intelligencer vol. 13, 44–48. Přeložil OLDŘICH KOWALSKI.

©1991 Springer-Verlag New York

nebo okapovou rouru. Abych byl upřímný, doufal jsem, že tam nenajdu vůbec nic.

Místo toho jsem našel trampolínu.

Archimedes se objevil nad hřebenem střechy, přičemž si stále pohrával s míčky a bezmyšlenkovitě kráčel dolů k okrajům střechy přímo nade mnou.

„Ty jsi blázen, Archimede,“ řekl jsem vzdorovitě.

„O čem to mluvíš? Tohle je nejlepší možný způsob, jak se dostat nahoru. Je to také dobré kondiční cvičení.“

„Je to dobrý způsob, jak si zlámat vaz, nic jiného.“

Archimedes přestal žonglovat. Dolů se na mne sneslo pět golfových míčků, jeden za druhým. Naštěstí mě žádný nezasažil, což znamenalo, že mně Archimedes nehodlal úmyslně ublížit. Nezatížen golfovými míčky udělal Archimedes pár kroků a pak nedbale vykročil ze střechy. Sletěl dolů, přistál uprostřed trampolíny a odrazil se až do výšky oken v prvním patře. Při druhém odrazu pokrčil kolena a zvedl se jen několik stop. Po dalším odrazu již stál šťastně na trampolíně a já jsem začal opět dýchat.

„Jestlipak víš, jak těžké je žonglovat na trampolíně?“ zeptal se mne, když zvedl golfové míčky.

„Nevím a nechci vědět.“ V tom okamžiku jsem byl rozhodnut stát na svém — doslovně.

Několik minut nato jsme Archimedes a já stáli čelem k sobě na vzdálenost natažené ruky a odrazili jsme se výš a výš. Archimedes měl kapsu vyboulenou golfovými míčky a já jsem cítil něco podobného v hrdle.

„Všechno záleží na načasování,“ vysvětloval Archimedes, když jsme společně stoupali a klesali. „Když jsi v nejvyšším bodě odrazu, tak se vůbec nehýbeš, pouze horizontálně a směrem ke střeše. Ty

chceš jen hladce přeskočit okraj střechy, až nastane ta pravá chvíle. Je to podobné, jako když vyskočíš do posledního schodu schodiště. Pokud to budeš potřebovat, je zde tyč, které se můžeš na střeše zachytit. Myslím, že stále ještě drží dost dobře. Jsi připraven?“

Odpověď zněla „Ne!“ Ale to už jsme byli na cestě vzhůru a směřovali jsme k domu. Archimedes, který mě neustále držel za předloktí, se pustil a přistál na šikmé střeše jako kočka. Já jsem se vyplašeně snažil dosáhnout na tyč, zavěsil jsem se kolem ní za předloktí, ztratil jsem oporu pro nohy a rozčileně jsem se hrabal po šindelech, objímaje tyč jako prosebník, přičemž mi levá noha visela do propasti.

„Není to zlé, Einsteine,“ řekl Archimedes. „Ne moc dobře, ale ani ne špatně.“

Jak se říká mezi piloty, dobré přistání je takové, ze kterého člověk vyvázne.

Opatrně jsem se postavil na nohy, stále se přidržuje tyče. „Dobrá, Archimede, dostal jsi mne sem nahoru. A teď řekni, co jsi mi chtěl vlastně ukázat.“

„Není odtud pěkný rozhled?“ odpověděl Archimedes.

Poprvé jsem se rozhlédl. Výhled byl skutečně překrásný. Archimédův dům stál na kraji lesa vedle golfového hřiště. Říjnové stromoví vytvořilo zvlněný oceán oslnivé červeně, žlutí a oranže s několika odstíny zeleně a hnědi, což připomínalo nazdobený salát. Bylo vidět travnatou plochu hřiště lemovanou půvabnými duby a javory. Blízko ní byla rozměrná vodní nádrž, kde u břehu spokojeně plavala kachní roidinka.

„Odtud jsem získal většinu svých golfových míčků,“ řekl Archimedes a ukázal na jezírko. „Pro můj chystaný projekt by byly vhodnější kuličky z ložisek, ale ty nejsou k máni zadarmo. Pokud jde o golfové míčky, nevadí mi, když je opět ztratím.“

„Ale co s nimi vlastně děláš?“ zeptal jsem se. „Díváš se, jak daleko je dohodíš do lesa?“

„To sotva,“ odvětil Archimedes. „Dívám se, jak daleko je dokážu *vystřelit*.“

To mě znovu naplnilo obavami, zrovna když jsem si začal zvykat na svůj pobyt na střeše. Archimedes Andrews je dosti nebezpečný, když manipuluje s rovníci. Představa, že sestrojil zbraň schopnou vystřelovat golfové míčky, mi přivodila třesavku.

„Pojď nahoru, ukážu ti to,“ řekl Archimedes a zamířil ke hřebenu střechy. Já jsem se zprvu nechtěl pustit své tyče, ale nakonec, když jsem v sobě potlačil vědomí, že pode mnou je hloubka nejméně dvaceti stop, jsem se odevzdal do vůle osudu a následoval jsem Archimeda po šindelech nahoru.

„Není kaučuk báječná věc?“ konstatoval Archimedes, když jsem k němu dorazil. „Je dobře, že jsi na sobě neměl střevíce s koženou podešví — to bys odtud odjel jako skokan na lyžích.“

Zatímco hovořil, zamířil Archimedes k jednomu konci domu, kde jsem konečně uviděl nepořádně postavené lešení kolem cihlového komína, který vyčníval dalších osm stop nad hřeben střechy. Ten komín jsem si dobře pamatoval: jednou Archimedes vycpal celou kouřovou trubku novinami a pak je zapálil. Hořící popel vybuchoval nad střechu, zatímco celý dům se trásl v základech, jakoby jeho sklepem projížděl vlak metra. Archimedes tehdy řekl, že se pouze snažil změřit harmonické kmity komínové roury a nikoli způsobit v okolí požár — kdyby prý měl takový úmysl, nečekal by na okamžik, kdy začne lít jako z konve.

K lešení vedl žebřík, za což jsem byl neskonale vděčný. Ovšem stát na plošině, která byla dvě stopy široká a čtyři nebo

pět stop dlouhá, bylo dokonce horší než stát na střeše: plošina měla výhodu, že byla rovná, ale střecha byla zato o moc větší. Lešení se navíc kymácelo. Jediná věc, které se mohl člověk přidržet, byl komín a pak jakýsi vynález podobný jeřábu, který Archimedes vybudoval na vršku komína. Ta vymyšlenost vypadala, jako by byla postavena ze součástí nějakého zrezivělého stavebního stroje. Byla přišroubována k vršku komína a vyčnívala ještě tři stopy nad jednu ze dvou komínových trubek. Byla k ní připevněna kladka, která trčela mimo komín, ale dalo se na ni dosáhnout z plošiny. Na kladce visel nějaký kbelík a napínal celou konstrukci.

V kbelíku byl asi tučet golfových míčků a tři blýskavé vrhačské koule.

„Věř si nebo nevěř, ale tohle jsou ve skutečnosti koule z ložisek,“ řekl Archimedes. „Vrhačské koule se dělají z olova a nemají dobrý odraz. Tyhle jsou ocelové a ocel se odráží výborně. Sleduj!“

Archimedes vzal jednu z velkých koulí — měla asi čtyři palce v průměru — nachystal si ji v konstrukci nad komínem a pak ji vši silou vrhl dolů do komínové roury. Koule rachotila, jak padala dolů, pak se ozval hrozivý kovový třesk, když narazila na dno a za okamžik se koule opět objevila nahoře, kde ji Archimedes zachytil.

„Položil jsem na dno ohniště těžkou ocelovou desku,“ vysvětloval Archimedes. „Nejlépe se odráží ocel od ocele. Navíc, ty koule z ložisek by cement rozbily. Také jsem prodloužil komínovou rouru směrem dolů, takže jsem získal uzavřený válec — nemám rád, když se ocelové koule odrážejí od stěn obývacího.“

„Tak tohle děláš? Vrháš golfové míčky a kovové koule dolů do komína?“

„Ale ne, to jsem ti jen předváděl. Ve skutečnosti je tam *spouštím*.“

Hádal bych, že Archimedes má ještě nějaký trumf schovaný v rukávě nebo dole v té rouře, popř. někde jinde. Hádal bych to podle jeho náznaku úsměvu a podle skrblictví, se kterým mi dával informace. Také jsem věděl, že moje šance uhodnout to byly menší než šance přežít celý podzim na rozviklané plošině, kde jsme právě byli.

„Chápu,“ řekl jsem přesto. „Získal jsi novou výbušninu, která exploduje, když na ni hodíš kouli. Nemám pravdu?“

„Nic takového; není to ani nové, ani výbušnina,“ odpověděl Archimedes. „Veškerá energie pochází z tohoto kbelíku — přesněji řečeno z toho, že jsme *zvedli* kbelík.“

„Dobrá, Archimede,“ řekl jsem podrážděně. „Nechám se poddat. Prostě mi ukaž konec té hádanky a pak mě nechej slézt ze střechy.“ „Dobrá, Einsteine,“ odpověděl Archimedes tónem, který měl být konejšivý, ale ve skutečnosti byl nepřijemně řezavý; tón hlasu, který by byl s to vyprovokovat jeho smrtelný pád na vlastní zahrádku nebo dvorek, popř. kamkoli. Bylo by to tak snadné — nebýt několika dětí, které nás pozorovaly z druhé strany ulice, a bůhvíkolika dospělých, kteří nás mohli šmírovat za bůhvíkolika záclonami.

„Jak už jsem řekl, obvykle to dělám s golfovými míčky, protože jsou levné. Ale neudělají takový dojem jako ocelové koule, a proto začnu tím, že jednu kvůli tobě obětuji.“

Archimedes měl stále ještě vrhačskou kouli v ruce. Pošťoural se v kbelíku a vytáhl odtamtud menší ocelovou kouli, pouze asi jeden palec v průměru.

„Je lepší se trochu přikřčit, abys nestál u ústí roury,“ varoval mně Archimedes. Potom se otočil k dětem na druhé straně ulice. „Kryjte se!“ křikl na ně a děti překvapivě poslechly. Řekl bych, že bydlí

v blízkosti Archimedova domu už dostatečně dlouho.

Archimedes se pak otočil ke komínu. Držel velkou kouli v pravé ruce nad komínovou rourou a malou kouli v levé ruce přesně nad ní. Pak je pustil a obě koule zmizely v otvoru.

Za okamžik nato malá koule vystřelila ven z otvoru, jako by měla zmeškat rande. Bylo nemožné — alespoň pro mne — odhadnout, jak vysoko vyletěla, ale já bych hádal sto stop nebo více. Sledoval jsem kouli, dokud nezapadla do barevného baldachýnu stromoví.

„Kolem 120 stop,“ řekl nešťastně Archimedes, který si počítal pro sebe. „Měl jsem golfové míčky, které vyletěly skoro stejně vysoko. No dobrá, jak se ti líbilo, Einsteine?“

„Co to tam dole máš?“ zeptal jsem se vyčítavě. „Další trampolínu?“

„Ale kdeže. Když pustíš na trampolínu mrtvou váhu, nemůže se odrazit o nic výše.“

„Tak co se to ksakru děje?“

„Fyzika,“ řekl Archimedes svým tajnostkářským způsobem. „Pružnost. Zachování energie a momentu. Gravitace.“

„Předpokládám, že mi teď řekneš, jak je všechno jednoduché,“ řekl jsem a věděl jsem, že to jednoduché bude.

„Musí to být jednoduché.“ Potom se Archimedes překvapivě opravil. „Ve skutečnosti je zde i něco složitějšího, protože existuje tření i odpor vzduchu a všechny tyhle záležitosti — opravdu bychom měli lepší výsledky, kdyby nebylo tření — a pokud bys chtěl opravdu vědět, odkud se bere pružnost, tak to je pěkně složitější — například otázka, proč jsou koule z ložisek pružnější než golfové míčky. Ale když zanedbáš tření a chápeš srážku pružných těles čistě matematicky, pak je to

skutečně jednoduché. Z čistě matematického hlediska by měly ocelové koule vyletět dvakrát tak vysoko, než skutečně vyletěly. Padesátiprocentní účinnost opravdu není špatná.“

„Ale jak může koule vyletět výše, než je místo, odkud jsi ji spustil? Není tím porušen zákon zachování energie nebo něco takového? Nezávádáš takto něco za nic?“

„Ale ne,“ odpověděl Archimedes. „To není jako loterie. Ve fyzice nemůžeš nikdy vyhrát sázku. Někdo musí jít dolů a zase vynést nahoru tu velkou kouli.“

„Je to skutečně jednoduché,“ pokračoval. „Musíš pouze začít myslet jako ta kovová koule. Pro mozek, jako je tvůj, by to nemělo být tak těžké. Zapamatuj si, co se stane, když necháš odrazit kouli: nejprve sletí dolů, pak se odrazí směrem nahoru, a to stejnou rychlostí. Ve skutečnosti rychlost ztrácí, ale zanedbejme tento fakt.“

„Nejlepší je představit si, že obě koule jsou v okamžiku, kdy velká koule narazí na dno, od sebe trochu vzdáleny. Jestliže v okamžiku nárazu měla velká koule rychlost v , pak se odrazí směrem nahoru stejnou rychlostí v , zatímco malá koule stále ještě letí dolů rychlostí v . V tomto okamžiku musíš začít myslet jako ta velká koule. Z jejího hlediska se malá koule přibližuje nikoli rychlostí v , ale rychlostí $2v$. Velká koule je mnohem těžší než malá koule — zhruba stokrát těžší. Dají se pro to napsat přesné rovnice, ale stejně dobře bys mohl velkou kouli považovat za nekonečně těžkou, takže malá koule se od ní odrazí stejnou rychlostí, totiž $2v$.“

„Ale ta rychlost je rovna $2v$ z hlediska velké koule — nebo z hlediska její souřadnicové soustavy, pokud máš rád módní termíny. Z našeho hlediska musíme přidat ještě rychlost velké koule, což je další

v . Celkový výsledek pak je, že malá koule má při srážce rychlost v , ale odrazí se nahoru rychlostí $3v$.“

„To znamená, že obdrží devětkrát větší kinetickou energii, protože kinetická energie je $\frac{1}{2}mv^2$. Ale kinetická energie se přemění v potenciální energii rovnou mgh , takže koule skončí svůj let — nebo by ho měla skončit, pokud zanedbáme všechno, co má ve světě nějakou důležitost — v devítinásobku původní výšky. Naše koule spadne z výšky asi 35 stop; měla by tedy vyletět nahoru asi 300 stop.“

Čtenář, který jistě není přikrčen na vratké plošině velikosti poštovní známky, umístěné tři patra nad místem předčasné a dosti chaotické smrti, by Archimédovým zdůvodněním mohl přikládat nějaký smysl. Já jsem pouze předstíral, že je sleduji.

„Ale tady to začíná být zábavné,“ pokračoval Archimedes. „Unavilo mě neustále hlídat míčky, jak létají nahoru, a nevědět, kde přistanou — jednou jsem udělal důlek na sousedově autě — proto jsem dal nahoru tuto věc.“ Archimedes se dotkl konstrukce na vršku komína. „Hlavní součást je ocelová deska“ — na vršku celého vynálezu byla umístěna zrezivělá obdélníková deska o velikosti bulvárních novin přivařená na jedné straně k tyči, která ji spojovala s konstrukcí. Na jednom konci tyče byl kloub. Také jsem upozoroval, že základy konstrukce spočívají na jakési kruhové kolejnici. „Mohu sklopit desku pod jakýmkoli úhlem tak, že pootočím kloubem a mohu ji také nastavit do libovolného směru. Koule...“

„Vím. Koule narazí na desku a odrazí se ve směru, kterým je deska namířena. Nemusíš mi říkat všechno, Archimede.“

„Nejsem si nikdy jist, co ti musím říkat a co nemusím, Einsteine. Ale co míníš tím směrem, kterým je deska namířena?“

Ve skutečnosti se koule od desky odrazí zrcadlově.“

„Ovšemže jsem to myslel takto,“ opáčil jsem. „Ale neztratí koule při nárazu na desku zčásti svůj elán?“

„Pochopitelně. Ale co se dá dělat. Kromě toho mohu stále ještě získat pěkně velkou rychlost — dost velkou na rozbití oken v okruhu sta yardů. Pochopitelně, že na nic takového nepomyslím. Ve skutečnosti je ta deska dobrá také jako štít, aby střela náhodou nezahnula směrem na ulici. Všechno musí mířit do lesa. Chceš to jednou zkusit?“

Archimedes otočil kloubem, takže deska se nastavila ve správném úhlu nad ústím komína; pak mi podal velkou kovovou kouli a golfový míček. Podržel jsem je pečlivě nad komínem a pustil. Kovová koule krásně rachotila dolů komínem, ale golfový míček, který jsem upustil o vlásek dříve, než bylo třeba, sklouzl uvnitř po kovové kouli, dosáhl právě tak úrovně komína a bez efektu dopadl na zem.

„Nebylo to špatné, Einsteine,“ řekl znovu Archimedes. „Ne moc dobře, ale ani ne špatně. Přinejmenším jsi se střelil do komínové roury. Chceš to zkusit podruhé?“ Podal mi jiný golfový míček a poslední kovovou kouli.

Podruhé jsem to provedl správně. Golfový míček narazil na zpáteční cestě hlasitě do kovové desky a trefil větev stromu v rohu Archimedovy zahrádky. Musím připustit, že jsem měl najednou pocit síly — jako kdyby mi náhle narostla křídla a já byl schopen odletět z vratkého hřadu, na kterém jsme stáli. Moje střela vyplašila párek ptáků, kteří se vznesli do vzduchu a pak se usadili na bezpečnějším stromě.

„Jediný problém je, že je obtížné najít jakýkoli způsob zacílení míčku, protože míček nemusí vyletět z komína rovně,“

řekl Archimedes. „Je to jako když vím, že zasáhnu protější dům, ale nemohu ti zaručit, že se střelím do určitého okna.“

„Pak jsem měl skutečně úspěch, když jsem trefil větev od stromu,“ řekl jsem.

„Jistě, Einsteine. Je snadné si naplánovat terč, do kterého jsi se právě trefil.“

„Ale jakou rychlostí míčky vyletují?“ zeptal jsem se, abych změnil téma rozhovoru.

„To je těžké říct přesně, protože je zde příliš mnoho faktorů. Nejlepší by bylo, předpokládám, užít radarového zařízení jako při baseballu a změřit rychlost víceméně přímo. Ale mohu ti říci teoretickou předpověď, která dává přinejmenším horní hranici.“

„Z tohoto místa trvá asi jeden a půl sekundy, než míček dopadne na dno. Protože během jedné sekundy dosáhneme rychlosti 32 stop za sekundu, je rychlost nárazu asi 48 stop za sekundu. Potom malá koule vyletí vzhůru třikrát rychleji než dopadla, tj. rychlostí 144 stop za sekundu. Jestliže to přepočítáme v mílích za hodinu, je to asi 98 mil za hodinu.“

„A čím výš začneš, tím větší je rychlost,“ dodal jsem.

„To je pravda, ale nemá to tak velký vliv, jak si myslíš. Rychlost vzrůstá s odmocninou výšky, takže chceme-li zdvojnásobit rychlost, musíme koule pustit ze čtyřnásobné výšky. Pokud bys chtěl překonat rychlost zvuku — což je mimochodem mým cílem — potřeboval bys komín vysoký asi 2 000 stop.“

„Zadrž Archimede. Říkáš, že chceš překonat rychlost zvuku, nebo jenom říkáš, že to nejde?“

„Obojí. Není praktické budovat vysoké věže, ale přesto se dá dosáhnout nadzvukových rychlostí. V principu můžeš dosáhnout rychlostí vyšších, než je rychlost

světla — až na to, že zde už platí jiné principy. Potřebuješ pouze větší koule.“

„Jak prosím?“

„Zamysli se znovu nad srážkou koulí. Máš masívní kouli, která se pohybuje vzhůru rychlostí u . . .“

„ v “ řekl jsem.

„Nazvi to, jak chceš,“ odpověděl Archimedes ostře. „Jde o to, že masívní koule a lehká koule nemusejí letět stejnou rychlostí. Jestliže první letí vzhůru rychlostí u a druhá dolů rychlostí v , pak po srážce letí malá koule vzhůru rychlostí $v + 2u$, což je součet rychlostí $u + v$ dosažené z hlediska velké koule a dalšího přírůstku u z našeho pohledu. Jestliže se u rovná v , pak dostaneme $3v$.“

„Předpokládejme teď, že bys měl třetí kouli, která by byla ještě lehčí než ta druhá. Pak bys byl ve stejné situaci, ale u by se rovnalo $3v$. Takže třetí koule se odrazí rychlostí $7v - 2u + v$.“

„Víš, jak vysoko by taková koule vyletěla? Čtyřicetdevětkrát výše, než byla původní výška, tj. asi čtvrt míle. A jestliže přidáš navrch ještě jednu kouli, pak máš rychlost dvakrát sedm plus jedna, to je $15v$. Ještě jednou a dostaneš rychlost $31v$ a to bohatě stačí k překonání zvukové bariéry.“

„Nejen to, několik dalších koulí umožní vystřelit tu poslední na zemskou orbitu. Odhaduji, že souprava deseti koulí stačí k dosažení druhé kosmické rychlosti — a to pracujeme pouze s třicetistopym komínem.“

„Dvě věci jsou tu ovšem na závadu. Vlastně tři. Za prvé tření a ostatní nepříjemnosti snižují celý efekt. Je také velký problém udržet koule v jedné přímce. Nejlepší by bylo umístit je ve vakuu a nechat je nejprve proletět magnetickým polem, které by je uspořádalo v jedné ose. Jiný přístup, se kterým si pohrávám, je

užít válce místo koulí. Nepotřebuješ koule, chceš-li dosáhnout pružné srážky, stačí jen vhodný materiál.“

„Ale největší problém, nejen praktický, avšak i matematický, je to, že teoretický výpočet rychlostí je založen na předpokladu, že každá předchozí koule má nekonečně velkou hmotnost v poměru k následující kouli. Matematicky je to ovšem nesmysl. V praxi může nekonečný poměr znamenat třeba stonásobek. Jestliže koule na vrcholu váží jednu unci, pak čtvrtá koule vespod váží kolem 30 tun.“

„Takže vypočítat matematicky to, co se skutečně děje, znamená sestavit rovnice, které zahrnují hmotnosti stejně jako rychlosti. Mohl bych to s tebou probrat, ale jestliže jsi nepochopil odkud se vzalo $3v$, asi bys při odvozování prožíval těžké chvíle. Proto ti poskytnu přestávku, Einsteine. Ale je zde problém k vyřešení. Předpokládejme, že máš kovový válec přesně metr dlouhý a uřízneš nahoře jeden centimetr. Jestliže chceš spustit válec do komínové roury a vystřelit tímto způsobem centimetrový váleček, kde *ještě* bys měl rozříznout tyč, abys dosáhl maximální výšky?“

S těmito slovy seskočil Archimedes z plošiny, sklouzl po střeše — těžko říci, zda úmyslně nebo nechtě — a minul okraj střechy. Zamával na mne, když se poprvé odrazil — přistál pochopitelně na trampolíně — a pak jsem ho už neviděl, dokud se neobjevil na předzahrádce.

„Hej, jak se mám odtud dostat dolů?“ zakřičel jsem.

„To je další problém, na kterém bys měl pracovat,“ odpověděl Archimedes.

Údaje o autorovi jsme otiskli v překladu jeho předchozího článku — viz PMFA roč. 34 (1989), č. 2 str. 108. Adresa autora: 305 Oxford Street, Northfield, MN 55057, U. S. A.