

1. Joseph Wright, *Pokus s ptáčkem ve vakuové pumpě*, 1768 (Národní galerie v Londýně).

Tak zvané nic

Protiví si příroda prázdno?

Dvacátého května roku 1631 dobyla císařská vojska vedená hrabětem Tillym polabské město Magdeburg. Nastalo mohutné rabování, a když už nebylo co ukrást, tak se začalo vraždit. Masakr v Magdeburgu ohromil celou Evropu. Z 25 000 obyvatel Magdeburgu přežilo pouze 5000. Přežil i Otto von Guericke, který se stal v roce 1646 na dalších třicet let magdeburským starostou. Nebyla to moc klidná léta. Von Guericke však kupodivu při své nepochybně únavné funkci stihl hloubat o ničem. Tedy o prázdnu, o vakuu.

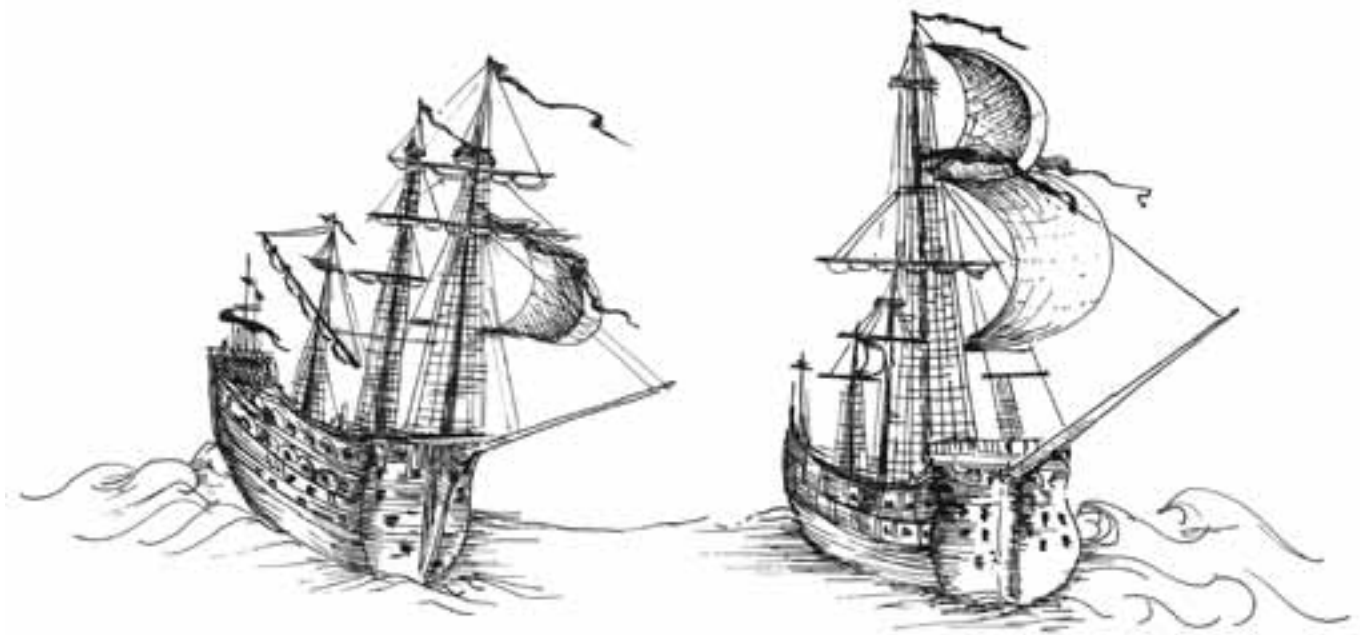
Prázdný prostor zaměstnával přední duchy od antiky. Aristoteles existenci prázdna odmítal: je-li něco „nic“, pak to nemůže existovat. Kromě toho by „nic“ nemělo být smyslově vnímatelné. Von Guericke vzal věc za jiný konec, sestrojil vakuovou pumpu a začal s prázdny experimentovat. Předváděl nezvonící zvon-

ky, vodu tekoucí odspoda nahoru či zvířátka marně v prázdnu zápasící o život (pár let po třicetileté válce se takové pokusy zjevně snesly a v lepší společnosti byly oblíbené i dlouho potom, viz obr. 1). Do historie se ale von Guericke zapsal především veřejnou show s magdeburskými polokoulemi.

Pan starosta nechal vyrobit dvě bronzové polokoule, které od sebe šly snadno oddělit. Po přiložení začal zevnitř vyčerpávat vzduch vakuovou pumpou. Koule najednou již nešly odtrhnout, a to ani pomocí dvou spřežení, každé o síle osmi koní. To je výmluvná demonstrace smyslové uchopitelnosti prázdna! Průběh experimentu nebyl úplně snadný. Koně byli špatně cvičeni pro hru na přetahovanou. Nebylo proto vůbec snadné přesvědčit šestnáct koní, aby zatnuli kopyta a začali tahat, když to nikam nevedlo.

PETR SLAVÍČEK

Prof. RNDr. Petr Slaviček, Ph.D., (*1976) vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK v Praze. V Ústavu fyzikální chemie VŠCHT v Praze a v Ústavu fyzikální chemie AV ČR, v. v. i., se zabývá teoretickou chemií, radiační chemií a fotochemií.



Srážející se lodě. Námořníci byli za bouřlivého počasí nejednou svědky přitahování blízko se pohybujících lodí. Toto přitahování je analogické k poněkud exotickému kvantovému Casimirově jevu. Kresba © Eva Muchová.

Magdeburské koule držely pohromadě nárazy molekul vzduchu z vnějšku nádoby, které nebyly kompenzovány nárazy zevnitř nádoby. Myšlenka přitahování díky vytvořenému prázdnu je podmanivá a univerzální. Námořníci například dobře věděli, že dvě lodě se v přístavu nemají příliš přibližovat. Mezi plavidly totiž nejsou vlny, kdežto z boku na ně vlny narážejí. Srážka lodí je pak těžko odvratitelná.

Ženevský lékař a fyzik Georges-Louis Le Sage přišel s nápadem, že podobně by šlo vysvětlit gravitaci. Celý prostor je dle něj prostoupen pohybujícími se částicemi (*corpuscules ultramondains*), které narážejí na planety ze všech stran. Nárazy se vzájemně kompenzují a celkově se nic neděje. Když se ale k planetě přiblíží jiná planeta, budou se vzájemně stínit a nastane nerovnováha v nárazech z vnější a vnitřní strany. Planety se zaokrouhlí či námořní plavidla. Teorie to není vůbec hloupá. Při troše snahy s ní dokážeme vysvětlit Newtonův gravitační zákon, a to jak závislost na vzdálenosti, tak na hmotnostech. Nemusíme se přitom uchýlovat k poněkud okultnímu „působení na dálku“. Celá teorie skončí neslavně, když se pokusíme spočítat počet nárazů nutných pro kvantitativní souhlas s Newtonovým gravitačním zákonem. Země by se velmi rychle vypařila.

Ještě dlouho po vyvrácení přitahovaly podobné teorie zájem odborníků i učených laiků. Zmiňme vlastenecky alespoň českého neurologa Jaromíra Hrbka. Kromě své odbornosti patřil i k čelným školským managerům, byl rektorem Univerzity Palackého a také jednou z řady zvláštních postav zastávajících post mi-

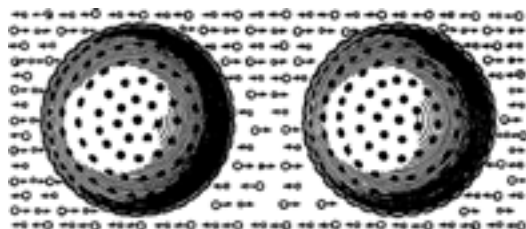
nistra školství. V padesátých letech se spolu s psychiatrem Václavem Čedíkem jal testovat své hypotézy o gravitaci vrháním platinových koulí do příbramských dolů (o finanční stránku celého projektu se postaral „největší mecenáš československé vědy a kultury“, ministr informací Václav Kopecký). Své výzkumy pak Hrbek shrnul v sedmdesátých letech v knize vydané Univerzitou Palackého *Radioční teorie gravitace*, ve které odvážně vyvrací Einsteino- vu obecnou relativitu. Vedením univerzity byl za svou práci navržen na Nobelovu cenu, návrh byl ale oslyšen.¹

Vrátme se však k prázdnu. Od dob von Guericke se technologie prázdna neustále vylepšovala. Zvážením se pak třeba dalo zjistit, že prázdno nic neváží. Pohled na vakuum jako na poctivé „nic“ ale není bez potíží. Vezměme si atom či molekulu nacházející se ve vakuu v základním stavu. Takovýto atom zůstane v základním stavu až do skonání věků. Pokud atom pošimráme světlem (tedy elektromagnetickým polem), může se ocitnout ve vzbuze- ném stavu. A v něm by měl ve vakuu opět zůstat libovolně dlouho. Jenže atomy velmi rychle padají zpět do základního stavu, vyzářujíce přitom světlo. Tento děj je pro nás strašně důležitý. Nebýt této tzv. spontánní emise, tak nevidíme Slunce, nebudou hřát kamna a nebude svítit žárovka ani svíčka.

Vysvětlení přišlo až s kvantovou teorií elektromagnetického pole. Rovnice popisující energii elektromagnetického pole umožňují pole interpretovat jako soubor (nekonečně mnoha) oscilujících částic. Když někde elektromagnetické pole není, tak se prostě tyto částice nehýbou. Jenomže kvantová mechanika nám říká, že částice se nikdy úplně zastavit nemohou. Vždy, i při nulové teplotě, se pohybují alespoň s určitou minimální energií, s tzv. energií nulového bodu. I ve vakuu tak máme elektromagnetické pole, které vyprovokuje atom ve vzbuze- ném stavu k přeskoku zpět do stavu základního.

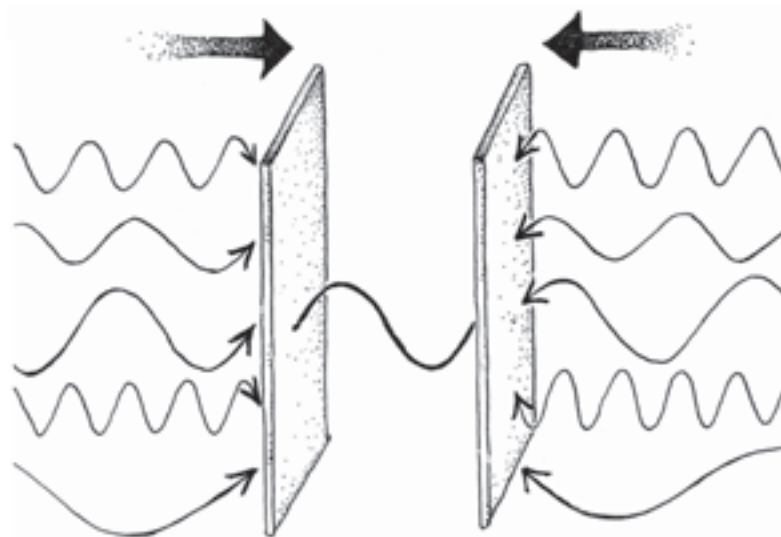
Vracíme se oklikou zpět k Aristotelovi: takzvané prázdno přece jenom není tak úplně prázdné. Zdá se, že skutečně „*Natura abhor-*

Kresba Georges-Louise Le Sage zobrazující *corpuscules ultramondains*. Prostor je vyplněn těmito hypotetickými částicemi. Dvě koule se zde přitahují díky vzájemnému stínění. Le Sage na základě této představy dokázal vysvětlit nejen gravitaci, ale také „chemickou afinitu“, tj. proč se některé látky slučují a jiné nikoliv. Z díla G.-L. Le Sage, *Essai de Chymie Mécanique*, 1761.



ret vacuum“ („Příroda si protíví prázdno“, François Rabelais, *Gargantua a Pantagruel*²). Může nás přitom pobuřovat nekonečná energie tohoto prázdna, neboť v něm kmitá nekonečně mnoho částic. Energii nulových kmitů nemůžeme využít, neboť je to energie nejnižší možná. Kvantové vakuum má přesto zajímavé důsledky. Představme si třeba dvě vodivé desky v určité vzdálenosti od sebe (jinými slovy dvě zrcadla). Zrcadla jsou nenabitá, mezi nimi nic není, a tak bychom čekali, že se také nic nestane. Elektrické pole na deskách musí být díky vodivosti nulové, a proto prostor mezi oběma deskami nemůže být domovem pro ledasjakou elektromagnetickou vlnu (nemůže v něm oscilovat každá částice). Prázdno mezi deskami je tak prázdnější než prázdno ve volném prostoru. Celková energie díky tomu poklesne tím více, čím budou desky blíže u sebe. Jinými slovy, díky poklesu energie kvantového vakua dojde k přitahování oněch dvou desek. Vše si můžeme představit také tak, že radiační tlak zevnějšku je menší než radiační tlak zevnitř desky. To je ale přesná kvantová analogie von Guerickeova experimentu.

Zopakujeme: dvě neutrální vodivé desky se díky nulovým kmitům vakua přitahují. S touto myšlenkou přišel v roce 1948 holandský fyzik Hendrik Casimir, když zkoumal mechanismus, jakým se přitahují koloidní částice. Casimirova síla působí v principu i mezi libovolnými jinými materiály. Není velká a projevuje se jen na krátké vzdálenosti: na vzdálenost 10 nm (což je asi stonásobek typického rozměru molekuly) vede k dodatečnému tlaku odpovídajícímu jedné atmosféře. Experimentální ověření proto nebylo snadné. S dostatečnou přesností byla Casimirova předpověď potvrzena v řadě experimentů (kupříkladu pomocí mikroskopie atomárních sil) až v devadesátých letech. Později se ukázalo, že existuje také Casimirova síla vznikající v důsledku tepelných fluktuací nebo že za určitých okolností může být tato sí-



Dvě nenabitě vodivé desky se při malých vzdálenostech přitahují díky kvantovým fluktuacím elektromagnetického vakua. Mluvíme o tzv. Casimirově jevu či Casimirově síle. Na tuto sílu můžeme nahlížet jako na důsledek radiačního tlaku elektromagnetických vln. Kresba © Eva Muchová.

la i odpudivá. Můžeme tak vytvořit levitující objekt. O Casimirovu síle bychom se měli zajímat při vytváření mikro- a nanotechnologických součástek, přitahování jednotlivých částí může vést k jejich kolapsu.

Když jsme se chtěli rozněznit nad výjimečností Casimirova jevu, použili jsme poněkud nečistý trik. Čtenáři jsme vnutili očekávání, že dva elektricky neutrální objekty se nepřitahují. Nicméně už od dob Casimirova krajana van der Waalse víme o silách mezi zcela neutrálními částicemi. Jsou to právě van der Waalovy síly (přesněji tzv. disperzní síly), které vedou například ke zkapaňování plynů. Chemik tyto síly vidí jako důsledek korelace mezi pohyby oscilujících nábojů v atomech, Casimir na ty samé síly nahlíží jako na projev ještě prázdnějšího prázdna v prostoru mezi částicemi. S materiálními projevy ničeho se zkrátka potkáváme docela běžně. ☞

1) Pozn. red.: Čtenářům zajímavějším se o podrobnosti doporučujeme článek Ivana Ulehly *O jedné divoké teorii* dostupný na <http://dml.cz/dmlcz/139586> a reakci Jaromíra Hrbka <http://dml.cz/dmlcz/137912>.

2) Ó pijáci otroci žízne! Panoši, bratříčku, nalej mi to víno, prosimtě! Po kardinálsku! Natura abhorret vacuum.

François Rabelais: Život Gargantuův a Pantagruelův, kapitola Opilá beseda, překlad Jihočeská Theléma.

INZERCE

Proletěte

s námi celou Evropu

| STUDENT | AGENCY |



letenky již od **1 050 Kč!**

cena za jednosměrnou letenku

Cena platná v době tisku.

www.studentagency.cz

ubytování | cestovní pojištění | pronájem aut | vízový servis | parkování u letiště v Praze | parkování na letišti ve Vídni