

MATFYZ 60

Šedesát let Matematicko-fyzikální fakulty UK Praha

EMANUEL SVOBODA – ZDENĚK DROZD – PAVEL TÖPFER

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha



Prvního září 2012 uplyne šedesát let od vzniku Matematicko-fyzikální fakulty (dále jen MFF), dnes jedné ze 17 fakult Univerzity Karlovy. Vznikla vládním dekretem z 19. srpna 1952 vyčleněním z přírodovědecké fakulty UK v Praze. K faktickému oddělení (správnímu i hospodářskému) však došlo až roku 1953.

Postupně ke dvěma budovám v ulici Ke Karlovu přibýly budovy na Malé Straně (1960), v Karlíně (1961) a areál v Tróji (1979). Povodeň v roce 2002 těžce poškodila budovu v Karlíně i části objektu v Tróji. Následky ničivé povodně se podařilo poměrně rychle odstranit a poškozené budovy jsou nyní v lepším stavu než před povodní.

S postupujícím rozvojem věd a s rostoucími požadavky praxe rostl na jedné straně počet studentů matematiky a fyziky (později i informatiky) i počet pracovníků fakulty, na druhé straně docházelo k postupné diferenciaci a ke vzniku specializovaných kateder a vědeckých ústavů. Uvedme si aspoň stručný přehled počátečního vývoje pracovišť fakulty.

Začneme *fyzikálními pracovišti*. Při vzniku MFF byla vytvořena Katedra fyziky, která existovala na Přírodovědecké fakultě, a Katedra geofyziky, astronomie a meteorologie. V roce 1954 se katedra fyziky rozdělila na

Katedru mechaniky a základů fyziky a z té v roce 1957 vznikly Katedra obecné fyziky, Katedra vysoké frekvence a vakuové techniky (v roce 1959 se přejmenovala na Katedru elektroniky a vakuové fyziky) a Katedra atomové fyziky a fyziky pevných látek. Posledně jmenované pracoviště se roku 1956 rozdělilo na Katedru teoretické fyziky a na Katedru fyziky pevných látek. Skupina jaderných fyziků přešla na Fakultu technické a jaderné fyziky UK, která byla v roce 1959 oddělena od UK a připojena k ČVUT. Roku 1967 se na MFF vrátila většina teoretických a jaderných fyziků a vznikly katedry jaderné fyziky, teoretické fyziky I a teoretické fyziky II. V roce 1956 vznikl Fyzikální ústav UK. V období let 1968–1975 působilo na fakultě také pracoviště pro otázky modernizace vyučování fyzice na vysokých školách. V roce 1973 z Katedry fyziky pevných látek a Katedry obecné fyziky vznikly Katedra fyziky polovodičů, Katedra fyziky kovů a Katedra fyziky polymerů. Katedra teoretické fyziky II se přejmenovala na Katedru teoretické jaderné fyziky a Katedra fyziky pro přírodovědné obory (vzniklá v roce 1966) se změnila v Katedru chemické fyziky. Na počátku roku 1965 se rozdělila Katedra geofyziky, astronomie a meteorologie na Katedru geofyziky a Katedru astronomie a meteorologie. O čtyři roky později se z posledně jmenované stala Katedra meteorologie a klimatologie a Katedra astronomie a astrofyziky. Katedra geofyziky a Katedra meteorologie a klimatologie se roku 1974 spojily a vznikla Katedra geofyziky a meteorologie. Roku 1975 po reorganizaci všech tří kateder teoretické a jaderné fyziky vzniklo Nukleární centrum, Katedra matematické fyziky a Katedra jaderné fyziky.

Roku 1959 byl při Katedře obecné fyziky zřízen Kabinet metodiky fyziky, z něhož vznikla roku 1962 Katedra metodiky vyučování fyzice posílená několika pracovníky, kteří přišli ze zrušené Fakulty přírodních věd Vysoké školy pedagogické. Katedra byla později dvakrát přejmenována – na Katedru teorie vyučování fyzice a nakonec na Katedru didaktiky fyziky.

V současné době je na MFF v objektu Trója devět pracovišť *fyzikální sekce*: Astronomický ústav UK, Katedra didaktiky fyziky, Katedra fyziky povrchů a plazmatu, Katedra fyziky nízkých teplot, Katedra makromolekulární fyziky, Katedra geofyziky, Ústav částicové a jaderné fyziky, Katedra meteorologie a ochrany prostředí a Ústav teoretické fyziky. Dalších pět pracovišť fyzikální sekce je v budově Ke Karlovu 5: Fyzikální ústav, Kabinet výuky obecné fyziky, Katedra fyziky materiálů, Katedra fyziky kondenzovaných látek a Katedra chemické fyziky a optiky.

Ukažme si nyní stručně počáteční vývoj *pracovišť matematiky a infor-*

matiky. Při vzniku MFF existovala Katedra matematiky a Katedra matematické statistiky. V roce 1956 vznikl Matematický ústav UK. O rok později se Katedra matematiky rozdělila na Katedru algebry a geometrie a Katedru matematické analýzy. V roce 1959 vznikla další dvě pracoviště a to Centrum numerické matematiky, které v r. 1977 bylo nahrazeno Výpočetním centrem UK při MFF, a Katedra aplikované matematiky. Od této se v roce 1968 oddělila Katedra numerické matematiky. V roce 1962 vznikla Katedra základních matematických disciplín, ze které se v roce 1968 oddělila Katedra matematické logiky. V téže roce se Katedra algebry a geometrie rozdělila na Katedru algebry a Katedru geometrie, která později přešla pod Matematický ústav UK. Redukovaná Katedra aplikované matematiky se přetvořila na Katedru základů matematické analýzy. Katedra základních matematických struktur se proměnila v Katedru obecných matematických struktur. V roce 1970 Katedra algebry, Katedra matematické logiky a Katedra obecných matematických struktur byly spojeny v Katedru základních matematických struktur. O čtyři roky později vznikla Katedra matematické informatiky a po dalších reorganizacích vznikly Katedra základní a aplikované algebry, Katedra kybernetiky a operační analýzy a nově Katedra matematické informatiky. V roce 1990 pak vznikl Ústav formální a aplikované lingvistiky. Některá pracoviště pozměnila postupně své názvy.

V roce 1964 vzniklo při Katedře algebry a geometrie oddělení metodiky matematiky, o dva roky později z tohoto oddělení byla vytvořena Katedra metodiky vyučování matematice, která se v roce 1968 přejmenovala na Katedru teorie vyučování matematice a později na Katedru didaktiky matematiky.

V současné době je na MFF v budově Sokolovská šest pracovišť *matematické sekce*: Katedra algebry, Katedra didaktiky matematiky, Katedra matematické analýzy, Katedra numerické matematiky, Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky a Matematický ústav.

Připojme ještě několik poznámek o vývoji informatických pracovišť. Katedra kybernetiky a operační analýzy a Katedra matematické informatiky se na určitý čas sloučily a na fakultě vzniklo jediné velké informatické pracoviště nazvané Katedra kybernetiky, informatiky a operačního výzkumu. V rámci této katedry začal fungovat Kabinet software a výuky informatiky jako oddělení pověřené péčí o učitelské studium informatiky. Při následné reorganizaci fakulty do tří odborných sekcí (matematické, fyzikální a informatické) se Katedra kybernetiky, informatiky a operačního

výzkumu rozdělila na tři samostatná pracoviště, jimiž se staly Katedra teoretické informatiky, Katedra softwarového inženýrství a samostatný Kabinet software a výuky informatiky. Do informatické sekce byly dále zařazeny Katedra aplikované matematiky, Katedra filosofie matematiky a přírodních věd, Ústav formální aplikované lingvistiky a Středisko informatické sítě a laboratoří, které se stalo následníkem bývalého Výpočetního centra. Později byla Katedra filosofie matematiky a přírodních věd sloučena s Katedrou teoretické informatiky, čímž vznikla současná Katedra teoretické informatiky a matematické logiky. V posledních letech došlo ještě ke dvěma změnám v uspořádání pracovišť. Od Katedry softwarového inženýrství se oddělila samostatná Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů, nejnověji pak od letošního roku vznikl Informatický ústav UK.

V budově na Malostranském náměstí je osm pracovišť *informatické sekce*: Kabinet software a výuky informatiky, Katedra aplikované matematiky, Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů, Katedra softwarového inženýrství, Katedra teoretické informatiky a matematické logiky, Středisko informatické sítě a laboratoří, Ústav formální a aplikované lingvistiky a Informatický ústav UK.

Sekce fyzikální, matematická a informatická se významnou měrou podílejí na vědecké a pedagogické činnosti MFF. Jsou řešeny domácí i zahraniční grantové projekty s bohatými publikačními výstupy v prestižních časopisech. Vědecká a odborná práce pokrývá široké spektrum fyzikální, matematické i informatické oblasti, pracovníci fakulty úspěšně drží krok s předními zahraničními pracovišti. Šířka vědeckého záběru je rozsáhlá, zahrnuje základní výzkum i aplikace včetně intenzivní mezinárodní spolupráce. Vědeckou reputaci fakulty dokládá velké množství pravidelně získávaných domácích i zahraničních grantů. Například v roce 2011 se pracovníci fakulty podíleli na více než 300 projektech českých grantových agentur v celkovém finančním objemu 230 milionů korun a na 30 projektech mezinárodních v celkovém finančním objemu 62 milionů korun.

Fakulta nabízí vysokoškolské vzdělání v odborném studiu fyziky, matematiky a informatiky a také v učitelství těchto oborů. V souladu s tradicemi a posláním Univerzity Karlovy fakulta usiluje o co nejširší nabídku studijních zaměření v uvedených oborech, a to na všech stupních vysokoškolské kvalifikace: bakalářské studium s navazujícím magisterským studiem a studium doktorandské.

Vzhledem k zaměření časopisu pojednejme podrobněji o přípravě budoucích učitelů fyziky a matematiky na MFF.

Výuce budoucích učitelů fyziky pro střední a základní školy v kombinaci s matematikou či informatikou se věnuje *Katedra didaktiky fyziky* (KDF). Studium poskytuje jednak velmi dobrý odborný základ v aporbačním předmětu a v didaktice tohoto předmětu, jednak vzdělání v pedagogice a psychologii, což umožňuje absolventům uplatnění nejen ve školství, ale také např. v různých kurzech firemního vzdělávání. Katedra také pořádá velký počet kurzů a seminářů pro učitele fyziky v praxi, velký zájem je např. o projekt Heuréka na podporu heuristické metody výuky. Každý týden od začátku října do konce května předvádějí členové katedry zajímavé pokusy z vybraných fyzikálních témat pro žáky středních škol.

Členové KDF jsou autory řady učebnic fyziky, metodických materiálů pro výuku fyziky či e-learningových modulů pro žáky a učitele fyziky. Na katedře také probíhá vývoj materiálů a pomůcek pro výuku fyziky. V nedávné době byla na fakultě vybudována Interaktivní fyzikální laboratoř, která je primárně určena pro podporu experimentální složky výuky na gymnáziích. Středoškoláci zde mohou pracovat s náročnějšími fyzikálními pomůckami a aparaturami, které nejsou dostupné na běžné škole. Ve spolupráci s Akademií věd ČR v rámci projektu Otevřená věda vznikla na katedře dvě interaktivní DVD – Elektřina a magnetismus, Světlo a zvuk. Učitelům fyziky jsou také poskytovány nejrůznější náměty na provádění experimentů s využitím počítačů, v poslední době např. i v kombinaci se systémem Vernier. Mezi učiteli je velký zájem o různé typy kurzů dalšího vzdělávání, které KDF nabízí. Letos např. končí semináře v rámci projektu OPA. V roce 1996 se na KDF zrodil nápad pořádat každoročně ve spolupráci s dalšími fakultami připravující učitele fyziky „Veletrh nápadů učitelů fyziky“. V letošním roce se uskuteční na MFF již 17. ročník této velmi oblíbené konference pro učitele fyziky všech stupňů škol.

Členové KDF se intenzivně věnují popularizaci fyziky, ať již prostřednictvím provozu webového portálu FyzWeb, organizací fyzikálně zábavných show a soutěží pro děti i dospělé (např. Vědohraní) nebo spoluprací na televizních vzdělávacích pořadech. Například v nedávné době uváděla Česká televize pořad „Rande s Fyzikou“.

Významná je dlouhodobá spolupráce s kolegy v oblasti fyzikálního vzdělávání nejen v České republice, ale také ve světě. Na národní i mezinárodní úrovni se katedra podílí na přípravě a vyhodnocení výzkumů v oblasti přírodovědného vzdělávání TIMS a PISA. V oblasti podpory učitelů spolupracuje KDF se Science on Stage. Dále se členové katedry podílejí na řešení

různých mezinárodních projektů v oblasti přírodních věd, např. v rámci projektu ESTABLISH.

V rámci mezifakultní spolupráce vznikl seminář pro studenty Pedagogické fakulty UK, kteří se připravují na dráhu učitelů na prvním stupni ZŠ. Tento experimentální seminář s názvem Pokusy v přírodovědě na prvním stupni ZŠ se těší stále větší oblibě u studentů.

Další informace o KDF jsou na webové adrese: <http://kdf.mff.cuni.cz>

Katedra didaktiky matematiky (KDM) garantuje na MFF studium učitelství matematiky a deskriptivní geometrie pro střední školy a učitelství matematiky pro druhý stupeň ZŠ. Podílí se rovněž na přípravě studentů dalších fakult UK, kteří studují matematiku v kombinaci s dalšími předměty. Členové katedry pracují v několika matematických disciplínách a v didaktice matematiky, zabývají se modernizací a inovací výuky matematiky a deskriptivní geometrie, tvoří zajímavé úlohy propojující školskou matematiku se životem. Nezapomínají na využití informačních technologií, počítačových a výukových programů.

Jednou z aktivit KDM je tvorba kvalitních výukových materiálů pro školskou matematiku – učebnic, cvičebnic a sbírek úloh pro všechny typy škol od základních po vysoké. Spolu s vytvářením výukových webových programů a vzorových didaktických testů katedra významně ovlivňuje úroveň vzdělávání u nás. Intenzivní práce probíhá při zkoumání dějin jednotlivých disciplín matematiky a jejího vyučování v českých zemích. Výsledky jsou pravidelně publikovány v edici Dějiny matematiky, v časopisech a sbornících.

KDM každoročně pořádá mezinárodní konferenci Historie matematiky a různé vzdělávací semináře pro studenty, doktorandy a učitele z praxe. Zapojuje se do celoživotního vzdělávání i do výuky v univerzitě třetího věku.

Další informace o KDM jsou na webové adrese: <http://www.karlin.mff.cuni.cz/katedry/kdm>

Závěrem našeho informačního článku uvedme slova děkana MFF UK *prof. RNDr. Zdeňka Němečka, DrSc.*, která uvedl v publikaci *Matfyz 60* vydané fakultou k 60. výročí svého založení. Podle něho se matematicko-fyzikální fakulta postupně vyvinula v respektovanou vědeckou instituci, která zaujímá čelné místo v naší republice: „Slovo matfyz je považováno za synonymum pro excelenci ve vědě.“

Literatura

- [1] Fyzika, Matematika a Informatika na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy. Vydal MATFYZPRESS, Repro středisko MFF UK, Praha 1995.
- [2] Univerzita Karlova v Praze. Matematicko-fyzikální fakulta. Nakladatelství Karolinum. 2002.
- [3] MATFYZ 60. 60 let Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Vydal MATFYZPRESS, vydavatelství Matematicko-fyzikální fakulty UK v Praze. Praha 2011.
- [4] <http://www.mff.cuni.cz/win.cs/fakulta/historie>

Hrozba z vesmíru

VLADIMÍR ŠTEFL – JULIUSZ DOMANSKI

Přírodovědecká fakulta MU, Brno – Toruň, POLSKO

Počátkem loňského roku přinesl tisk zprávu, že 7. ledna 2011 v 20 hod. 39 min. SEČ planetka 2011 CQ1 proletěla rekordně blízko naší Země, její minimální vzdálenost činila pouze 5 480 km. Byla objevena jen několik dnů dříve, 4. ledna 2011 americkým projektem *Catalina Sky Survey* pro monitorování objektů blízkých Zemi. Hrozilo obyvatelům zeměkoule nebezpečí? V tomto případě nikoliv, neboť šlo o malé těleso – meteoroid o průměru zhruba 2 metry, které by při případném pádu shořelo v atmosféře. Obdobných planetek je velké množství, ve sluneční soustavě miliony.

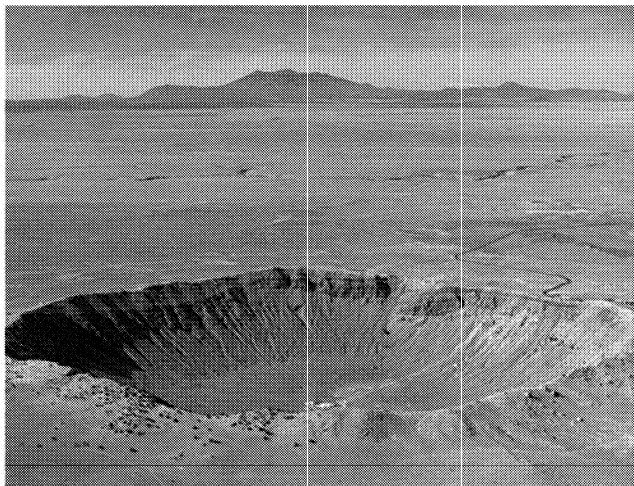
Za účelem jejich sledování vzniklo především v USA několika projektů, např. Spaceguard, LINEAR (*Lincoln Near – Earth Asteroid Research*), NEO (*Near – Earth – Object*) Spacewatch atd. Úkolem bylo především hledání planetek přibližujících se Zemi z hlavního pásu mezi Marsem a Jupiterem, jejich odhadovaný počet je více než 7 000. Postupná realizace prohlídek oblohy vedla logicky od těles větších k menším. V současné době jsou zkoumány planetky o velikostech (100 – 140) metrů. Podle odhadu jich doposud bylo objeveno (10 – 15) %.

V minulosti Země nastaly dopady planetek na povrch Země. V nedávné době největší událostí byla exploze planety 30. června 1908 nad oblastí řeky Podkamennaja Tunguzska na Sibiři. Podle nejnovějších modelů [1] došlo k výbuchu tělesa s pravděpodobně uhlíkatým jádrem o průměru 30 m,

ve výšce 13 km, při němž byla uvolněna energie $\approx 10^{16}$ J, odpovídající 4 MTNT. Důsledkem exploze byl vznik rázové vlny vedoucí k povalení stromů v okruhu 40 km (obr. 1). Viditelnost jevu byla do vzdálenosti 650 km, „bílou noc“ pozorovali například v Londýně.



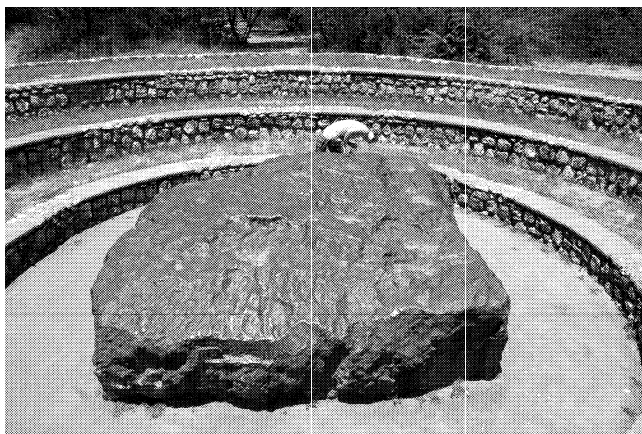
Obr. 1



Obr. 2

Velmi známým je tzv. Barringerův kráter v Arizoně, jehož stáří je zhruba 50 000 roků. Kráter má v průměru 1,5 km (obr. 2). Těleso, které vedlo k jeho vzniku, mělo průměr 150 m, hmotnost $3 \cdot 10^9$ kg.

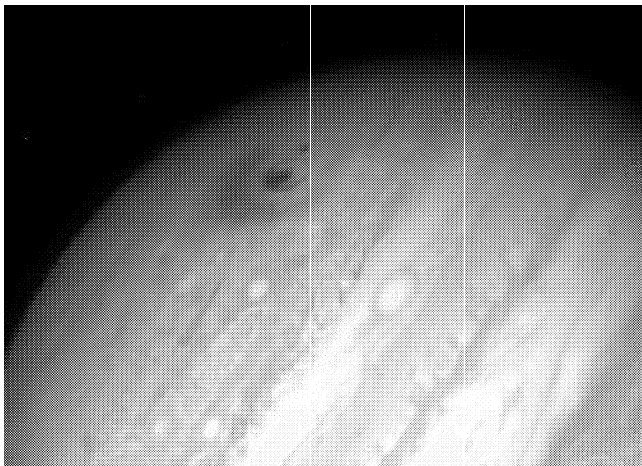
Impaktních kráterů na povrchu Země známe téměř dvě stě. Jedním z nich je kráter Chicxulub na poloostrově Yucatán v Mexiku o průměru asi 180 km, v němž se nalézají rázově přeměněné horniny o stáří 65 milionů roků, [2]. Impaktní energie uvolněná při dopadu byla odhadnuta na řádově 10^{24} J. Krátery se rovněž nacházejí pod příkrovem ledu v Antarktidě, největší dosud objevený má průměr více než 500 km a stáří 250 milionů roků. Planetka, která vytvořila tento kráter, měla průměr zhruba 40 km. Meteority, které dopadly na Zemi, známe z mnoha případů. Nejhmotnější železný o hmotnosti 60 tun je Hoba v Jižní Africe (obr. 3).



Obr. 3

Jak je zřejmé, dopady planetek na větší kosmická tělesa ve sluneční soustavě byly zejména v minulosti velmi časté, o čemž svědčí vzhled například Merkuru, Měsíce či Marsu. Určitě také tělesa dopadají na plynné planety Jupitera či Saturn. V březnu roku 1993 objevená kometa Shoemaker-Levy 9 se rozpadla při průchodu v blízkosti Jupitera na více než 20 úlomků, které 16. července 1994 dopadly na Jupiter. Astronomové podrobně zkoumali pád jednotlivých úlomků. Typické parametry úlomků byly $\rho \approx (0,6 - 0,9) \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $d \approx 1 \text{ km}$, $M \approx 10^9 \text{ kg}$, $v \approx 60 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$,

$W_k \approx 10^{18}$ J. Uvolněná energie měla za následek teplotní změny v atmosféře, různé typy vln, záření, její část se transformovala na kinetickou energii látky vytvářející chochol – ohnivou kouli. Místo dopadu úlomků s původní teplotou 130 K, se zahřálo na 24 000 K. Následně po čtyřiceti sekundách teplota poklesla na asi 1 500 K. Dopadová stopa dosáhla průměru $\approx 10\,000$ km. Jedním z nejprozkoumanějších byl dopad úlomku G (obr. 4), u něhož uvolněná energie po dopadu dosáhla 10^{19} J, dopadová stopa činila až 12 800 km.



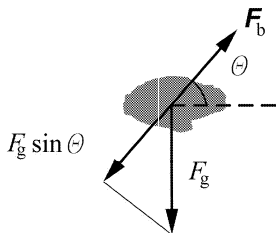
Obr. 4

Výsledkem výzkumu bylo zjištění fyzikálních a chemických vlastností vertikální struktury atmosféry Jupitera, obsah kyslíku. Srážkové efekty se ukázaly mnohem výraznější, než se očekávalo.

Přejdeme k fyzikálnímu rozboru pohybu planetky v zemské atmosféře, je zachycen například v [3], [4], [5]. Ve větších výškách, např. řádově 100 km, je atmosféra složena především z dusíku a kyslíku, hustota a tlak vzduchu jsou stovky milionů krát menší, než u povrchu Země. Planetka je při průletu ovzduším podrobena intenzivnímu bombardování molekulami vzduchu, které při pružných srážkách se odrážejí, respektive narušují povrchovou vrstvu jádra planetky. Při dalším sestupu níže dochází k narůstání odporu atmosféry, planetka je zbrzdována v pohybu, povrchová vrstva se zahřívá, narušuje a následně vypařuje. Při průchodu planetky atmosférou

narůstá dynamický tlak na náběžnou stranu planety, ablace absorbuje tepelnou energii emitovanou horkými plyny.

Provedeme rozbor pohybu planety při zjednodušujícím předpokladu o jádře planety modelovaném pomalu rotující koulí. Vyjádříme působící síly na planetku, uvažujeme sílu přitažlivosti Země a brzdící sílu vyvolanou odporem vzduchu (obr. 5).



Obr. 5

Obdržíme v prvním přiblížení pohybovou rovnici $F = F_b + F_g \sin \Theta$, kde Θ je úhel svírající směr pohybu s horizontem. Brzdící síla F_b je úměrná hustotě atmosféry ρ a druhé mocnině rychlosti pohybu v^2 , ploše C průřezu ve směru pohybu. Platí známý vztah $F_b = -\frac{1}{2}CS\rho v^2$ a výsledná pohybová rovnice má tvar

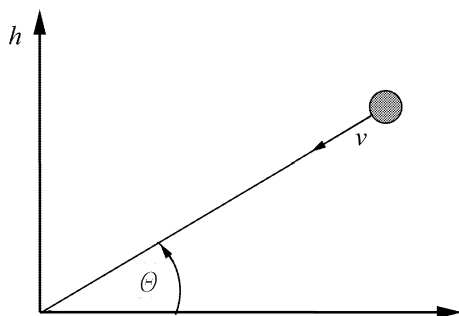
$$ma + \frac{1}{2}CS\rho v^2 = mg \sin \Theta. \quad (1)$$

Síla odporu prostředí zpomaluje pohyb planety, zatímco gravitační síla ho urychluje ve směru k hmotnému středu Země.

Neprobíhá však pouze nárůst rychlosti planety, nýbrž také změna směru jejího pohybu (obr. 6). Atmosférický vztlak ovlivňuje pohyb ve směru horizontálním. Platí

$$\frac{d\Theta}{dt} = -\frac{g \cos \Theta}{v} - \frac{C_L \rho S v}{2m} - \frac{v \cos \Theta}{R_Z + h}, \quad (2)$$

kde C_L je koeficient vztlaku, závislý na tvaru jádra planety. První člen na pravé straně rovnice je vyjádřením gravitační složky, druhý charakterizuje atmosférický vztlak a třetí zachycuje působící gravitaci Země. Rychlost pohybu planety při vstupu do atmosféry závisí na jejích dráhových elementech, činí zpravidla $(11,2 - 73,4) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ vzhledem k Zemi a převyšuje tedy rychlost zvuku v atmosféře, jde o pohyb hypersonický.



Obr. 6

Jak se mění gravitační zrychlení a_g a hustota ϱ atmosféry s výškou? Závislost gravitačního zrychlení na výšce vyjadřuje vztah

$$a_g(h) = a_{g0} \left(\frac{R_Z - h}{R_Z} \right)^2,$$

kde $a_{g0} \approx g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $R_Z = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$ je poloměr Země. Pro závislost hustoty na výšce platí

$$\varrho(h) = \varrho_0 e^{-\frac{h}{H}},$$

kde $H = 8100 \text{ m}$ je tlaková škálová výška zemské atmosféry, tzn. výška, v níž hustota klesne na $1/e$ své hodnoty.

Řešení výše uvedených rovnic (1), (2) při zadaných počátečních podmínkách lze provést numericky užitím tabulkového kalkulátoru či PC, u nichž lze snadno měnit počáteční podmínky. Vhodné parametry pro výpočty lze nalézt v [6].

V principu existují tři možné scénáře průchodu atmosférou: buď jádro planety celé shoří a jeho hmotnost se redukuje na nulovou, nebo vnitřní tlak v jádře planety vede k překročení meze tečení, následuje exploze v atmosféře a vznik rázové vlny. Další možností je velký nárůst tlaku vzduchu, který nestačí obtékat těleso. Na čelní stěně dochází k jejímu intenzivnímu zahřívání a narušení soudržnosti materiálu. Následuje celkové rozrušení jádra planety a jeho výbuch.

K přiblížení problematiky a získání číselných představ lze žákům zadat zjednodušené úlohy:

1. Častým námětem katastrofických filmů je dopad planetek na povrch Země. Nechť jádro planetky dopadne do oceánu rychlostí $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro zjednodušení předpokládáme jeho sférický tvar o průměru 3 km a hustotě $2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Určete velikost uvolněné energie a porovnejte ji s energií uvolňovanou při erupcích sopek, která dosahuje $4,2 \cdot 10^{17} \text{ J} \approx 100 \text{ MTNT}$, připomínáme, že 1 MTNT odpovídá energii $4,2 \cdot 10^{15} \text{ J}$. Jak velké množství vody se při pádu do oceánu vypaří?

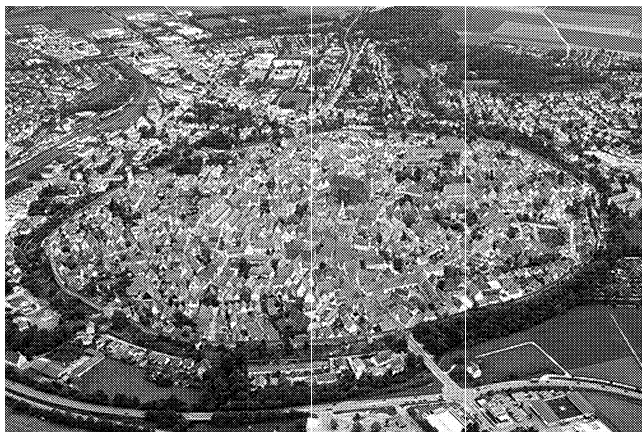
Stanovíme hmotnost jádra planetky $M = \rho V = 2,8 \cdot 10^{13} \text{ kg}$, kinetická energie uvolněná při dopadu je $\frac{1}{2} M v^2 = 1,4 \cdot 10^{21} \text{ J}$, tedy mnohem větší než při erupcích sopek. Množství vypařené vody určíme ze vztahu $m = \frac{E_k}{l_v}$, kde $l_v = 4,5 \cdot 10^6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Po dosazení za zjednodušujících předpokladů, při $\rho_v = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dostaneme objem vypařené vody $V = 600 \text{ km}^{-3}$.

2. Určete pomocí empirického vztahu $D \simeq D_0 \left(\frac{E_k}{E_{k0}} \right)^{0,294}$, kde $D_0 = 15 \text{ km}$, $E_{k0} = 10^{20} \text{ J}$ přibližnou hmotnost a poloměr planetky – meteoritu Ries, po jehož dopadu zůstal v Německu kráter o průměru $D = 24 \text{ km}$, na němž se nachází město s kruhovým půdorysem (obr. 7). Předpokládáme modelovou rychlost dopadu $25 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ a hustotu $\rho = 3 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Ze vztahu $D \simeq D_0 \left(\frac{E_k}{E_{k0}} \right)^{0,294}$ nejprve stanovíme $E_{k0} = 5 \cdot 10^{20} \text{ J}$. Odtud určíme při předpokladu $v = 25 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ hmotnost meteoritu $M = 1,6 \cdot 10^{12} \text{ kg}$. Poloměr stanovíme ze vztahu

$$R = \sqrt[3]{\frac{M}{\frac{4}{3}\pi\rho}} = 500 \text{ m}.$$

S určitou pravděpodobností možnost střetu Země s jiným kosmickým tělesem ze sluneční soustavy existuje, lze ji v předstihu předpovědět [7]. Jaké jsou možnosti ochrany před pádem planetky, či komety na Zemi? Rozvoj vědy a techniky umožňuje zpracovávat nové myšlenky likvidace těchto kosmických těles ohrožujících Zemi. Řada z nich se již dočkala filmových zpracování, přestože jsou většinou značně nereálné. Například vyslání k blížícímu se tělesu posádky s úkolem jeho rozbití na menší úlomky. Zřejmě by to nebyla nejlepší metoda ochrany, neboť menší úlomky by při svém pádu na Zemi mohly způsobit stejnou škodu jako původní těleso. Reálnější se jeví umístění speciálních raket na těleso a jeho vychýlení ze směru pohybu k Zemi.



Obr. 7

V každém případě v budoucnosti problematice ohrožení Země z kosmu bude muset lidstvo věnovat pozornost. Proto jsou vyhledávací programy takových objektů podporovány a rozvíjeny.

Literatura

- [1] *Chyba, C., Thomas, P., K. Zahnley.*: The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid. *Nature* 391 (1993), p. 40-44.
- [2] *Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., Michel, H. V.*: Extraterrestrial cause for Cretaceous – Tertiary extinction. *Science* 208 (1980), p. 1095-1108.
- [3] *Bland, P. A. – Artemieva, N. A.*: Efficient disruption of small asteroids by Earth's atmosphere. *Nature* 424 (2003), p. 288-290.
- [4] *Domingos, R. C. – Winter, O. C.*: Possibility of collision between co-orbital asteroids and the Earth. *Computational applied mathematics*, vol. 24, 2005, No. 1, p. 99-107.
- [5] *Thomas, P. J. – Goulet, M. – Philips A.T. – Smith, A.*: Ablation, aerobraking and airbursting of a hypersonic projectile in Earth's atmosphere. vol. 40 (2002), p. 487-492.
- [6] *Metz, D. – Stinner, A.*: Deep Impact: The Physics of Asteroid/Earth Collisions. *The Physics Teacher*, vol. 40 (2002), p. 487-492.
- [7] *Vanýsek, V.*: Kosmické katastrofy. *PMFA*, vol. 38 (1993), p. 269-288.

Případ s chatou

ALEŠ LACINA

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Oblíbená učebnice [1] uvádí svou kapitolu věnovanou kinetické teorii plynů poutavým motivačním problémem:

„Představte si, že jste se právě vrátili z lyžařské túry do promrzlé chaty; co uděláte nejdřív? Nejspíš zatopíte v kamnech – a proč? Řeklo by se, že kamna zvýší obsah vnitřní („tepelné“) energie vzduchu v celé místnosti natolik, že se v něm budete cítit příjemně. Jakkoliv to vypadá logicky, má to velkou slabinu: vnitřní energie veškerého vzduchu v místnosti se totiž zahřátím nezmění. Jak je to možné? A když je tomu tak, proč tedy v kamnech topíme?“
([1], str. 526)

Přestože jde o otázky z vysokoškolského (základního) kurzu fyziky, k odpovědi na ně – kterou [1] uvádí ve stručném, dosti nezáživném tvaru o čtrnáct stránek dále jako řešení příkladu 20. 9 – plně postačují znalosti odpovídající druhé a třetí kapitole středoškolské učebnice [2] (nebude-li ovšem jejich obsah nepříjemně zredukován [3]).

Následující podrobný rozbor tohoto zajímavého konkrétního problému demonstruje jeho fyzikálně-pedagogickou hodnotu, upozorňuje na některá úskalí příliš zběžné či rychlé prezentace základů termiky a molekulové fyziky a může snad posloužit i jako vhodný příklad možné cesty k prohloubení studentského chápání této důležité partie.

1. ... zatopíte v kamnech ...

Topící kamna jsou v kontaktu s okolním vzduchem. Energiíovou bilanci při tom vystihuje první termodynamický zákon

$$\Delta U = Q + W = Q - W',$$

kde ΔU je změna vnitřní energie okolního vzduchu, Q je teplo, které okolní vzduch přijal od kamen, W , W' je práce vykonaná nad okolním vzduchem, resp. práce, kterou okolní vzduch vykoná.

Poněvadž je práce vykonaná okolním vzduchem nulová (jde o tepelnou výměnu), **vnitřní energie okolního vzduchu se zvětšuje**:

$$\Delta U = Q > 0 \quad (1)$$

Jak tedy mohli autoři [1] dospět ke zcela odlišnému závěru? Vnitřní energie vzduchu U souvisí přímo s jeho tlakem p a objemem V prostřednictvím jednoduchého vztahu¹

$$U = \frac{5}{2} p \cdot V. \quad (2)$$

Poněvadž ovšem tlak v místnosti, stejně jako její objem, nedoznal v souvislosti se zatopením žádné změny, ani „**vnitřní energie (veškerého) vzduchu v místnosti se zahřátím nezmění**.“

2. ... (veškerý) vzduch v (celé) místnosti ... před zatopením a po něm

Znepokojivé zjištění, že dvojí různý termodynamický popis téže reálné situace vede k rozporným závěrům, si zřejmě žádá důkladnější analýzu celého problému.

2.1 modelová situace – hermeticky uzavřená místnost

Vyděme – pro jednoduchost – z akademického předpokladu, že vytápěná místnost je hermeticky uzavřena. Za těchto okolností připadají v úvahu dvě snadno představitelné možnosti:

- Pokud jsou stěny místnosti nepohyblivé, uvažované plynové těleso ($\equiv$ *veškerý vzduch v místnosti*) nemění svůj objem $\Delta V = 0$, v důsledku zahřívání se však zvětšuje jeho tlak $\Delta p > 0$.
- Jsou-li stěny místnosti posuvné, nemění se při zahřívání tlak vzduchu v místnosti $\Delta p = 0$, dochází ale ke zvětšování jeho objemu $\Delta V > 0$.

Vztah (2) potom dává pro obě tyto alternativy též výsledek jako obecná energiová bilance (1): *vnitřní energie veškerého vzduchu [uzavřeného!] v místnosti se zahřátím zvýší – $\Delta U > 0$.*

2.2 reálná situace – místnost na skutečné chatě

Běžné místnosti na běžných chatách mají neměnný objem $V_1 = V_2 = V$, avšak vzduch může pronikat různými šterbinami v jejich stěnách. Díky

¹Tento vztah vznikne spojením (termické) stavové rovnice $p \cdot V = \text{Konst.} \cdot T$ a (kalorické stavové) rovnice $U = 5/2 \text{ Konst.} \cdot T$ platících pro dvouatomový ideální plyn, za nějž může být vzduch v uvažované situaci s dobrou přesností považován [3].

tomu je v nich stále stejný (atmosférický) tlak $p_1 = p_2 = p$, takže také součin tlaku a objemu *veškerého vzduchu v místnosti* před zatopením $p_1 \cdot V_1$ a po zatopení $p_2 \cdot V_2$ má stejnou hodnotu. Ze vztahu (2) pak hned plyne, že *vnitřní energie veškerého vzduchu v místnosti se zahrátím nezmění*.

Z předchozího rozboru je zřejmé, k čemu na skutečné chatě v souvislosti se zatopením v kamnech dojde: část vzduchu (δn molů) unikne štěrbinami v oknech a dveřích z vytápěné místnosti pryč. Jinými slovy řečeno, látkové množství (*veškerého*) *vzduchu v místnosti* se změní z původní hodnoty n_1 (před zatopením) na koncovou hodnotu n_2 (po zatopení). A tím se také vyjasňuje příčina celého počátečního nedorozumění. Úvodní citát totiž označuje týmž slovním spojením (*veškerý*) *vzduch v (celé) místnosti* dvě různá plynová tělesa:

veškerý vzduch v místnosti (před zatopením): n_1 molů $\equiv$ okolní vzduch
veškerý vzduch v místnosti (po zatopení): $n_2 = n_1 - \delta n$ molů.

Hodnoty veličin V_1, V_2 ; p_1, p_2 ; n_1, n_2 o nichž se hovoří v tomto odstavci – a podobně také T_1, T_2 a U_1, U_2 v dalším textu – se (na rozdíl od předchozího odstavce 2.1) vztahují ke dvěma různým termodynamickým systémům.² (Ke zdůraznění této skutečnosti i v matematických zápisech označujeme jejich difference odlišnou symbolikou, např. $n_1 - n_2 = \delta n$.)

3. ...*vnitřní energie veškerého vzduchu v místnosti* ...

Předcházející úvahu lze dovést ještě dále, a to i kvantitativně: Součin $p \cdot V$ je podle (termické) stavové rovnice ideálního plynu úměrný jeho termodynamické teplotě T . Je tedy před zatopením:

$$p_1 \cdot V_1 = p \cdot V = \text{Konst.} \cdot T_1, \quad (3)$$

po zatopení:

$$p_2 \cdot V_2 = p \cdot V = \text{konst.} \cdot T_2. \quad (4)$$

Srovnání takto zapsaných vztahů může při povrchním pohledu opět působit paradoxně: Zatímco se levé strany obou těchto vyjádření se rovnají,

²Poznamenejme, že by sice bylo možné hovořit i o jednom systému, ovšem s proměnným počtem částic. Takový přístup je však pro úvodní kurzy méně vhodný a proto je v nich také méně běžný.

teploty T_1, T_2 které vystupují na jejich pravých stranách, jsou různé. (Tep-
loměr v místnosti ukazuje před zatopením nižší teplotu než po zatopení:
 $T_1 < T_2$.) I zde je však rozpor jen zdánlivý. *Konstanta* na pravé straně
(termické) stavové rovnice ideálního plynu je totiž konstantou vždy jen
pro konkrétní plynové těleso, neboť její hodnota závisí na jeho látkovém
množství n . V uvažovaném případě je tedy

$$Konst. = n_1 R_m, \quad konst. = n_2 R_m,$$

(kde R_m je molární plynová konstanta), což po dosazení do (3), (4) dává

$$n_1 \cdot T_1 = n_2 \cdot T_2.$$

Pomocí tohoto vztahu lze snadno vyjádřit látkové množství δn vzduchu,
který během topení unikne z místnosti

$$\delta n = n_1 - n_2 = n_1 \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right),$$

a také – s použitím vztahu (2) – změnu δU *vnitřní energie veškerého vzdu-
chu v místnosti*

$$\delta U = U_2 - U_1 = \frac{5}{2} n_2 R_m T_2 - \frac{5}{2} n_1 R_m T_1 = 0.$$

4. ... proč tedy v kamnech topíme?

Zatopením v kamnech dojde ke zvýšení vnitřní energie okolního vzdu-
chu o $\Delta U > 0$. Tuto energii ΔU (přesně rovnou energii, kterou dodají
kamna ve formě tepla Q do svého okolí!! – /viz vztah (1)/) však z vytá-
pěné místnosti odnesou molekuly vzduchu unikající netěsnostmi v jejích
stěnách. „Energetický obsah místnosti“, nebo lépe *energie veškerého vzdu-
chu v místnosti*, tak zůstane nezměněn: $\delta U = 0$.

Skutečnost, že hodnota *vnitřní energie veškerého vzduchu v místnosti*
před a po zatopení je táž, lze – s přihlédnutím k jednoduchému vztahu
 $U = N \cdot \langle u \rangle$ spojujícímu vnitřní energii U N -částicového plynového tělesa
se střední hodnotou energie $\langle u \rangle$ jeho jednotlivé částice – vyjádřit zápisem

$$N_1 \cdot \langle u \rangle_1 = U_1 = U_2 = N_2 \cdot \langle u \rangle_2.$$

Poněvadž je však po zatopení v místnosti menší množství vzduchu n_2 , resp. jeho molekul N_2 , než před zatopením $n_1 > n_2$ (resp. $N_1 > N_2$), musí být

$$\langle u \rangle_1 < \langle u \rangle_2.$$

A jelikož pro dvouatomový ideální plyn obecně platí

$$\langle u \rangle = \frac{\frac{5}{2} n R_m T}{N} = \frac{5}{2} \frac{R_m}{N_A} T = \frac{5}{2} k T,$$

kde N_A je Avogadrova a k Boltzmannova konstanta, znamená to – pouze jinými slovy řečeno – že se v důsledku zatopení v kamnech zvýšila teplota v místnosti. Náš příjemný (či nepříjemný) „pocit“ – tj. „pocit tepla“ (či „pocit zimy“) – souvisí se střední hodnotou energie molekul, tedy s teplotou, našeho bezprostředního okolí a nikoli s jeho celkovým energetickým obsahem.

V kamnech tedy topíme proto, abychom zvýšili teplotu v místnosti, („tepelná“) *energie* vyprodukovaná kamny však nakonec jen přispěje k „tepelnému znečištění“ okolního prostředí.

Autor je přesvědčen, že podrobná diskuse rozebíraného problému může být velmi přínosná jak po stránce fyzikální, tak pedagogické. Její dílčí části by přitom bylo nepochybně užitečné svěřit samotným studentům (třeba jako vhodnou náhradu řady standardních – mnohdy značně sterilních – úloh obvykle užívaných k ilustraci základů kinetické teorie plynů). Další vítané aspekty tohoto zajímavého tématu – např. rozvíjení čtenářské gramotnosti, kritického myšlení, vědomí ekologických souvislostí, ... – si laskavý čtenář, cvičený v novořeči kompetencí a jiných moderních pedagogických trendů, jistě uvědomí a zformuluje sám.

Literatura

- [1] *Halliday, D. – Resnick, R. – Walker, J.*: Fyzika. VUTIUM Brno, Prometheus Praha, 2000.
- [2] *Bartuška, K. – Svoboda, E.*: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika. Prometheus, Praha 2000.
- [3] *Lacina, A.*: Ideální plyn v gymnaziálním kurzu fyziky. Matematika, fyzika, informatika **18**, č. 7 (2009) 408. http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/idealni_plyn.pdf