



Výřez z celooblohového snímku bolidu, který letos 13. ledna zachytila automatická digitální kamera Evropské bolidové sítě na stanici Lysá hora. Prerušování světelné stopy (šestnáctkrát za sekundu) je způsobeno elektronickou clonou a umožňuje určit rychlost bolidu

# Vesmírné kamení v síti

Drobná vesmírná tělíska pronikající zemskou atmosférou mají velký význam pro výzkum meziplanetární hmoty. Ze světla, které jejich poslední pouť provází, dokážou vědci vyčíst řadu zajímavých údajů. O tom, jak se „loví“ kosmické kamení a jak lze určit jeho rodokmen, jsme si povídali s Pavlem Spurným z Astronomického ústavu Akademie věd

Ptala se Jana Žďárská

**?** Meteoroidům se věnujete již mnoho let. Kdo vás k zájmu o vesmír nasměroval?

K zájmu o vesmírné dění mě kromě programu Apollo a podpory mých rodičů – především tatínka, který mi zajistil komponenty pro první dalekohled – inspirovaly dvě výjimečné dámy. Jednou z nich byla moje babička a tou druhou Bennettova kometa.

Když byla v roce 1970 viditelná na obloze, babička mě vzbudila a dívali jsme se na ni spolu. A v tu chvíli mi vesmír nejspíš přirostl k srdci už napořád. Byl jsem poměrně malý, bylo mi teprve dvanáct let, ale pohled na hvězdnou oblohu mě okouznil. Tehdy jsem ještě neznal žádná souhvězdí, ale atmosféra prolétající vlasatice mě pohltila a já jsem ve své duši cítil, že je znát chci. A nejen je...

**?** Postupně jste si sestavil vlastní dalekohled a babička vás nasměrovala do astronomického kroužku v Kunžaku. Tam se začal odvíjet váš životní příběh, lemovaný astronomií?

Babička byla moudrá žena, a když viděla, jak mě vesmír oslovil, kolik času trávím pod noční oblohou poznáváním souhvězdí a různých vesmírných objektů viditelných

jen malým dalekohledem, neváhala a seznámila mě s amatérským astronomem Ladislavem Schmiedem, který zmíněný kroužek v Kunžaku vedl.

**?** **Ladislav Schmied se dlouhodobě věnoval pozorování Slunce, spolupracoval například s Hvězdárnou Františka Pešty, a jeho jméno dokonce nese astronomická cena. Mohl byste nám ho blíže představit?**

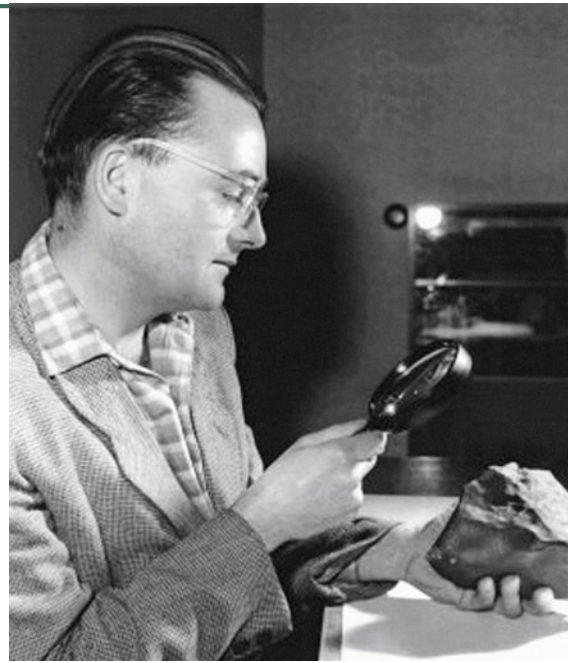
Zabýval se pozorováním úkazů ve fotosféře naší hvězdy, tedy především slunečních skvrn. Byl v daném ohledu mimořádně vytrvalý: Svému velkému koníčku se věnoval dlouhých šedesát šest let v pozorovatelně, kterou si vybudoval na zahradě. Za tu dobu pořídil dvěma malými dalekohledy – refraktorem a reflektorem – na paraktické montáži přes dvanáct a půl tisíce zákresů slunečních skvrn. Dokončil sledování téměř šesti slunečních cyklů, a stal se tak soukromou osobou s nejdlejší pozorovací řadou na světě. Po jeho úmrtí navrhli právě pracovníci Hvězdárny Františka Pešty založení Ceny Ladislava Schmieda. Je určena pro jednotlivce věnující se vizuálnímu pozorování sluneční aktivity.

**?** **Váš zájem o astronomii se přetavil do profesního zaměření, když jste po dokončení Matematicko-fyzikální fakulty na Karlově univerzitě začal pracovat jako odborný asistent v Oddělení meziplanetární hmoty Astronomického ústavu v Ondřejově. Jaké byly vaše vědecké začátky?**

Na „Matfyzu“ jsem vystudoval fyziku pevných látek. Obor astronomie nebyl v našem ročníku vůbec otevřený. Tehdy totiž existovala takzvaná směrná čísla pro každou profesi a v astronomii šlo o jednoho člověka ročně pro celé Československo. Proto se daný obor neotevíral každý rok. Když jsem v roce 1982

**Zdeněk Ceplecha a první meteorit s rodokmenem, nazvaný Příbram**

nastupoval do Astronomického ústavu v Ondřejově, věděl jsem, že se chci věnovat především meteorům. Již od roku 1975 jsem je sledoval s kamarády doma v Kunžaku na pozorovatelně, kterou jsme si postupně svépomocí vybudovali. Navíc v Ondřejově pracoval doktor Zdeněk Ceplecha, jenž se věnoval výzkumu meteorů a jako první na světě vypočítal dráhu bolidu spojeného s pádem meteoritů, na základě čehož se později podařilo jejich úlomky sku-



## Znalost rodokmenů meteoritů, tedy toho, odkud pocházejí, znamenala zásadní milník v meteorické astronomii

tečně nalézt. Stal se mým velkým vzorem, a když se tedy v Ondřejově uvolnilo místo pro jeho asistenta, hned jsem se přihlásil. Nebyl jsem však samozřejmě sám, a bohužel ani první – o pozici panoval opravdu velký zájem. Čtyři kandidáti přede mnou ovšem z různých důvodů odpadli a v pátek druhého července se rozhodlo: Telefon u nás doma zazvonil a maminka se od doktora Ceplechy dozvěděla, že mě přijali.

**?** **Jak vaše spolupráce probíhala?**

Nastoupil jsem do Ondřejova v roce 1982, tehdy byl Zdeněk Ceplecha astronomickou hvězdou. Bezesporu šlo o jednoho z největších českých astronomů a profesionála, který se velkou měrou zasloužil o to, že se z výzkumu meteorů stal celosvětově uznávaný a respektovaný obor. První meteorit s rodokmenem, nazvaný Příbram, jej proslavil po celém světě. Znalost rodokmenů meteoritů – tedy toho, odkud pocházejí – totiž znamenala zásadní milník v meteorické astronomii. Zdeněk Ceplecha byl nejen mým školitelem, učitelem a lidským vzorem, ale po sedmadvacet let také nejbližším spolupracovníkem. A já si té možnosti stát mu po boku při tak důležitém výzkumu velice vážím.

**?** **Jaké byly počátky profesionálního výzkumu meteorů v Astronomickém ústavu v Ondřejově?**

Zdeněk Ceplecha tam založil a také dlouhodobě vedl výzkum meziplanetární hmoty, tedy především meteorů a bolidů. Původně začínal s baterií jednoduchých kamer, jež pokrývaly větší část oblohy a byly umístěny na dvou

## Kdo je...

**RNDr. Pavel Spurný, CSc. (\*1958)**

je český astronom a světově uznávaný odborník na meteory. Pětadvacet let vedl Oddělení meziplanetární hmoty Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově. Od roku 1993 působí jako hlavní koordinátor bolidové sítě pro sledování meteorů v Evropě. Získal několik prestižních ocenění a jeho jméno nese planetka (13774) Spurný, objevená na Lowellově observatoři v Arizoně.



# Nález po dvaceti letech

Jeden z velmi zajímavých meteoritů nalezených na našem území dostal název Benešov. Mimořádný superbolid, způsobený přibližně metrovým meteoroidem o hmotnosti zhruba

3 500 kilogramů, zachytily 7. května 1991 tři celooblohové a dvě spektrální kamery české části Evropské bolidové sítě. Jde o jeden z nejlépe popsanych a nejvíce studovaných pádů meteori-

tů v historii, ale také o první a dosud nejlepší případ s velmi podrobnými spektry. Úlomky se povedlo nalézt až dvacet let po dopadu na základě nové analýzy celé události a jejich výjimečnost spočívá především v tom, že se od sebe podstatně liší: Původní těleso bolidu totiž sestávalo minimálně ze tří typů materiálu.

**První tři benešovské meteority byly nalezeny v dubnu 2011 pomocí detektorů kovu. Zleva doprava: H5 chondrit 1,56 g, LL3.5 chondrit 7,72 g s achondritickou částí a LL3.5 chondrit 1,99 g**



**Hledání meteoritů u Benešova po dvaceti letech – tentokrát s úspěchem**



stanicích v Ondřejově a Prčici (ještě předtím v Mezivratech). Jeho důkladnou přípravu a zapálení pak korunoval úspěch: Sedmého dubna 1959 obě stanice svými speciálními kamerami, určenými pro sledování meteorů, zachytily a vyfotografovaly velmi jasný bolid.

vzdálené od Ondřejova čtyřicet kilometrů. Na základě snímků se podařilo určit, nejen kudy bolid letěl, ale také že z něj spadly meteority. Navíc se povedlo stanovit i jejich dopadovou plochu východně od Příbrami, kde se poté rovněž našly čtyři úlomky

Ano, díky brilantní analýze bolidu Příbram se poprvé podařilo dokázat, že meteority přilétají z oblasti hlavního pásu asteroidů mezi Marsem a Jupiterem. Což je velmi důležité, protože nám mohou poskytnout informace o tehdejších bouřlivých procesech, a hlavně o stavbě svých mateřských těles – planetek.

## Díky analýze bolidu Příbram se poprvé podařilo dokázat, že meteority přilétají z oblasti hlavního pásu planetek mezi Marsem a Jupiterem

Jednalo se o mimořádný úkaz, v maximu asi tisíckrát jasnější než Měsíc v úplňku.

**Šlo o první instrumentálně zdokumentovaný pád meteoritu v historii. Jak se analyzoval jeho let a dopad?**

Let bolidu zachytilo několik fotografických kamer – tři z baterie deseti kamer v Ondřejově a pět ve druhé stanici v Prčici,

patřící k tomuto bolidu. Jedná se o první mimozemská tělesa, u nichž díky výpočtům známe jejich původ, tedy rodokmen. Můžeme proto hrdě říct, že meteority Příbram představují celosvětový primát.

**A patří jim ještě jedno prvenství: V jejich případě poprvé víme, odkud k nám meteoroid přiletěl...**

**?** Jak se v roce 1959 dráha bolidu počítala?

Ceplechova metodika umožňovala rychle spočítat dráhu tělesa – ale pod pojmem „rychle“ je třeba si představit ruční výpočet trvající jeden až dva týdny! V současné době jde pro počítače o záležitost několika vteřin... Navíc Zdeněk Ceplecha jako první na světě rigorózně spočítal takzvanou temnou dráhu, tedy úsek trajektorie od pohasnutí bolidu po dopad meteoritu, a zavedl daný termín do meteorické astronomie.

**?** Co následovalo po meteoritu Příbram?

Především touha zopakovat něco podobného a dozvědět se o tělesech bolidů, tedy o meteoroidech hmotnějších než jeden kilogram, daleko víc. Cílem bylo pokrýt přístrojovým pozorováním celou oblohu a co největší

území. Otázka zněla, jak to co neefektivněji udělat, když jsou bolidy místně i časově velmi vzácné, a navíc je až na velké výjimky nelze předpovědět.

**?** Skupina vědců v Oddělení pro výzkum planetární hmoty pod vedením Zdeňka Ceplechy pracovala na rozšíření pozorovacích stanic a vzniku takzvaných bolidových sítí. Na jakém principu fungují?

Bolidová síť představuje soustavu stanic vybavených speciálními kamerami. Ty slouží k fotografické registraci malých meziplanetárních těles – tedy meteoroidů prolétajících atmosférou, jež způsobí světelný jev meteoru, případně bolidu – a to na co největším území. Důležité je především rozmístění jednotlivých kamer tak, aby

pokrývaly celé území souvisle. Pro výpočet dráhy bolidu hraje totiž podstatnou roli, aby ho zachytily alespoň dvě pozorovací stanice navzájem vhodně vzdálené.

**?** Na podzim roku 1963 u nás začala fungovat první bolidová síť. Kolik stanic ji tvořilo?

Šlo o první národní bolidovou síť na světě a založil ji právě Zdeněk Ceplecha s kolegou Jaroslavem Rajchlem. Na začátku měla deset stanic v Čechách a na Moravě, poté se přidávaly okolní státy s dalšími stanicemi a vznikla takzvaná Evropská bolidová síť – jež s různými obměnami, avšak s ústředím stále v Ondřejově funguje dodnes. Aktuálně

## Česká část Evropské bolidové sítě je nejdéle fungující a nejmoderněji vybaveným experimentem svého druhu na světě



se v Česku kamery bolidové sítě nacházejí například na Churáňově, v Přimdě, Šindelově, Kocelovicích, Růžově, Jičíně, Frýdlantu, Kunžaku, Ondřejově, Svatouchu, Kuchařovicích, Polomu, Veselí nad Moravou a na Červené či Lysé hoře. Jedná se o nejdéle fungující experiment svého druhu na světě a jeho jádro, přímo spravované naším ústavem, v současnosti představuje nejmoderněji vybavenou bolidovou síť. Na to jsme velice hrdí.

**?** V roce 1974 se uskutečnila zásadní modernizace stanic. Čeho se týkala?

V rámci modernizace se původně celooblohové zrcadlové kamery s malým rozlišením nahradily kamerami s objektivem typu rybí oko, které výrazně zvýšily přesnost pozorování.

**?** Jak vypadá bolidová síť dnes a jaké má přístrojové vybavení?

V současné době tvoří centrální část Evropské bolidové sítě jednadvacet stanic osazených digitálními celooblohovými automatickými kamerami. Na jedenácti stanicích se nacházejí širokouhlé spektrální kamery a na dvou, v Ondřejově a Kunžaku, funguje navíc sledovací rychlonaváděcí systém FIPS a celooblohový spektrální videosystém. Na ostatních stanicích jsou instalovány ještě dohledové videokamery, které na rozdíl od těch fotografických bolidových pracují i ve dne, takže můžeme zachytit rovněž velmi jasné denní bolidy. Celkem daná část sítě zahrnuje patnáct stanic v Česku, čtyři na Slovensku a po jedné v Rakousku a Německu.

**?** Asi nejdůležitější byl přechod na plně automatizované a digitalizované získávání dat. Jak tedy stanice pracují nyní?

Naprostu zásadní modernizaci umožnilo získání Akademické prémie v roce 2012. Jde o prestižní ocenění udělované Akademií věd, spojené s velkou finanční podporou. Díky tomu nyní používáme pro komplexní sledování bolidů Digitální automatickou bolidovou observatoř neboli DAFO, kterou máme na všech našich stanicích. Aktuálně se jedná o nejlepší zařízení svého druhu na světě, vyvinuté ve spolupráci s českou firmou Space Devices. DAFO pořizuje každých pětatřicet sekund zcela automatické expozice pokrývající spojitě celou plánovanou pozorovací dobu, a získává tak celooblohové snímky s vysokým rozlišením. Kamera má programovatelnou elektronickou závěrku pro určování rychlosti bolidu a její součástí tvoří i detektor jasu – velmi přesný fotometr. Díky němu dokáže kamera zajistit exaktní čas přeletu bolidu, a navíc i jeho světelnou křivku s vysokým časovým rozlišením pěti tisíc vzorků za sekundu. Celý unikátní přístroj pracuje bez jakékoliv místní obsluhy a pořízená data jsou dostupná okamžitě.

### **?** Bolidová síť efektivně pokrývá většinu střední Evropy. Jaká data umožňuje získat?

Konkrétně pořizujeme data o bolidech nad územím s rozlohou přibližně jednoho a půl

### **Typická stanice s celooblohovou digitální bolidovou kamerou**

se pak na základě našich výpočtů povedlo nalézt. Jednalo se o tři kamenné meteority s celkovou hmotností 6,2 kilogramu. Neuschwanstein byl mimořádně zajímavý tím, že se jeho dráha ve Sluneční soustavě prakticky shodovala s trajektorií toho historicky prvního – meteoroidu Příbram. Důležitost případu podtrhuje i fakt, že jej publikoval nejprestižnější vědecký časopis Nature.

### **?** Meteority hrají ve vědeckém výzkumu velmi důležitou roli. Jejich studium může odhalit více o složení původní vesmírné hmoty. Z čeho sestávají nejčastěji?

Meteority lze podle složení dělit na železné, kameňoželezné a kamenné. Poslední zmíněné dále členíme na achondrity a chondrity, které jsou nejhojnější a také nejstarší – okolo 4,56 miliardy let. Jsou tedy stejně staré jako Sluneční soustava, a patrně tak představují jediné předměty doličné z období jejího vzniku. Převážnou většinu čerstvě nalezených meteoritů tvoří právě kamenné chondrity. Do atmosféry Země se mohou dostat i meteoroidy pocházející přímo z komet,



atmosférou pak velká většina meteoroidů shoří. Mohou také explodovat a jen ve výjimečných případech, jež se týkají jasnějších a pomalejších bolidů, dopadnou zbytky původního tělesa na zemský povrch, kde je pak můžeme najít jako meteority.

### **?** Svítí na obloze každý meteoroid?

Meteorické tělíčko má většinou průměr od jednoho milimetru do několika centimetrů. Při uvedené velikosti už za sebou při vstupu do atmosféry zanechává světelnou stopu. Pokud se jeho rozměry blíží deseti centimetrům nebo je ještě větší, přezáří na nebi například i Venuši a nazýváme ho bolid. Velké meteoroidy – zde již mluvíme přímo o asteroidech či kometách, tedy tělesech v řádech stovek a tisíců metrů – vytvářejí kromě mimořádně jasných světelných efektů také impaktní krátery a v minulosti vývoj naší planety významně ovlivnily.

### **?** Mezi pozoruhodné meteority se řadí Čeljabinsk, největší bolid od tunguské katastrofy. Proč se o něm hovoří jako o události století a jak blízko rozsáhlé pohromy jsme se tehdy nacházeli?

Čeljabinsk představoval denní meteorit s magnitudou  $-28$ , což znamená, že byl ještě o něco jasnější než Slunce. Měl průměr devatenáct metrů a hmotnost asi dvanáct tisíc tun. Z hlediska bezpečnosti byl skutečně pozoruhodný, a to ze dvou důvodů: Jednak explodoval poměrně vysoko v atmosféře, takže našťastí nevedl k velkým ztrátám na životech. Událost se odehrála poblíž dvoumilionového města, a kdyby

## **Pokud se velikost meteoroidu blíží deseti centimetrům, zazáří na nebi jako bolid – úkaz jasnější než Venuše**

milionu kilometrů čtverečních. Přístroje shromáždí každou noc velké množství informací a všechny snímky i záznamy se archivují na výkonných serverech s kapacitou přes pět set terabytů. Bolidy se automaticky vyhledávají po skončení každé noci a veškerá data o nich, ve všech pořízených formátech, se ještě archivují zvlášť. K tomu máme vlastní rozsáhlou databázi, s dostupnými informacemi o vytvořených záznamech a následně také s výslednými daty ke každému identifikovanému bolidu.

### **?** Síť mimo jiné zachytila meteoroid Neuschwanstein. Čím byl výjimečný?

Jednalo se o druhý pád meteoritu, který jsme v naší síti zachytili, a zároveň jsme předpověděli místo dopadu úlomků, jež

kometární materiál je však příliš křehký, než aby průlet ovzduším přežil.

### **?** Jak vypadá střet meteoroidu se zemskou atmosférou?

U každého tělesa samozřejmě jinak. Průměrný meteoroid začíná v atmosféře svítit zpravidla ve výšce osmdesáti až sto deseti kilometrů. Rychlost průletu se vždy pohybuje přibližně mezi deseti a sedmdesáti kilometry za sekundu, což je dáno tím, že se jedná o těleso Sluneční soustavy. Jeho jasnost se odvíjí hlavně od velikosti a rychlosti. Když meteoroid vletne do ovzduší, jeho povrch se rychle zahřívá a zároveň ho odpor vzduchu brzdí – takže vidíme světelný úkaz označovaný jako meteor, lidově řečeno padající hvězda. Při průletu

těleso explodovalo níž, mohli jsme počítat tisíce zraněných a mrtvých. Druhým důvodem se stal fakt, že byl Čeljabinsk správně vyhodnocen jako bolid a nedošlo k záměně například za mezikontinentální střelu.

### ? Co o zmíněném meteoritu ještě víme?

Když byl patnáctého února 2013 nad jižním Uralem pozorován výrazný bolid, nepanovala tmavá noc, nýbrž den. Těleso vstoupilo do atmosféry v 9:20:20 místního času rychlostí 68 500 kilometrů za hodinu, tedy osmapadesátkrát rychleji než zvuk. Díky jasnému počasí v rozsáhlé oblasti západní Sibiře existují stovky, a možná i tisíce videozáznamů tohoto superbolidu, především z palubních kamer automobilů. Uvolněná energie se odhaduje na pět set kilotun trinitrotoluenu čili přibližně na třicetnásobek jaderného výbuchu v Hirošimě. Díky relativně značně výšce katastrofického rozpadu se vzniklá rázová vlna významně zeslabila ještě před dosažením zemského povrchu, takže neměla fatální následky.

### ? Prvenství v určení dráhy Čeljabinsku patří právě Oddělení meziplanetární hmoty. Jak jste jeho trajektorii vypočítali a podařilo se na jejím základě nalézt úlomky tělesa?

Vypočítali jsme, že bylo těleso pozorovatelné již ve výšce devadesáti pěti kilometrů nad zemí. V tu dobu se jeho povrch zahřál natolik, že se prudce odpařovalo jasně zářící plazma viditelné i na denní obloze. Objekt

se pohyboval rychlostí devatenácti kilometrů za sekundu, po dráze skloněné v průměru jen sedmáct a půl stupně k zemskému povrchu. O jedenáct sekund později se ve výšce třiceti dvou kilometrů začal mohutně rozpadat a dosáhl takového zjasnění, že na krátkou dobu přezářil i Slunce. Postupně se štěpil na menší úlomky, přičemž největší z nich zářil ještě šest sekund po rozpadu, než také pohasl. V té době se zbrzdil na tři ki-

z asteroidů. Jedinou alternativu, jak dopravit takové vzorky do pozemských laboratoří, představují meziplanetární mise. A přitom víme, odkud meteorit přiletěl a jak vypadalo jeho mateřské těleso, což přispívá k lepšímu porozumění vzniku a vývoji nejen malých objektů ve Sluneční soustavě. Navíc můžeme být hrdí, že si již po několika desetiletí udržujeme výsadní postavení v tomto nevelkém, ale rovněž důležitém oboru astronomie. A že

## ••••• Díky tomu, že Čeljabinsk explodoval poměrně vysoko v atmosféře, nedošlo k velkým ztrátám na životech •••••

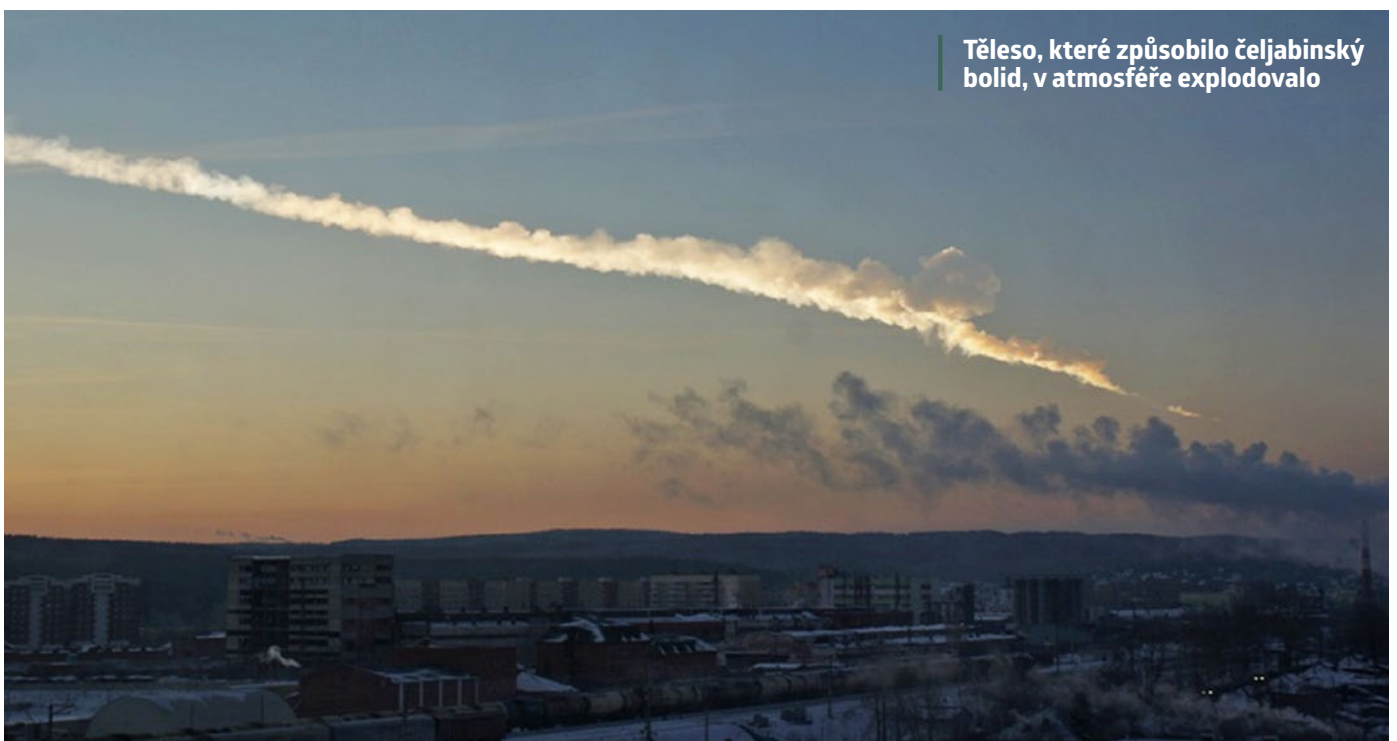
lometry za sekundu. Celková zaznamenaná světelná dráha měřila 272 kilometrů a těleso ji překonalo za osmnáct sekund. Z průběhu brzdění jsme odvodili i hmotnost největšího kusu v hodnotě 450 kilogramů, což by odpovídalo velikosti asi půl metru. Podle spočítané trajektorie dopadl úlomek do jezera Čebarkul, kde byl také později nalezen.

### ? Co považujete za hlavní přínos meteoritů s rodokmenem?

Hlavní přínos každého přesně popsaneho pádu meteoritu spočívá v tom, že se nám víceméně zadarmo dostane do rukou materiál

jste vybudovali životaschopný a velmi účinný systém pro komplexní studium malých těles pocházejících z nejrůznějších oblastí naší soustavy. ✍

*Mgr. Jana Žďárská pracuje ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v rámci popularizace vědy publikuje v Československém časopise pro fyziku a dalších periodikách, je členkou České astronomické společnosti (ČAS), Kosmologické sekce ČAS (dříve místopředsdkyní), Astronautické sekce ČAS, porotkyní Československé astrofotografie měsíce (ČAM) a členkou Jednoty českých matematiků a fyziků*



**Těleso, které způsobilo čeljabinský bolid, v atmosféře explodovalo**