



Osud

planety Země

Časem možná přežijí pouze ty nejodolnější a nejprimitivnější organismy či mikrobi, kterými evoluce na naší planetě začala. O potenciálních scénářích budoucího osudu Země jsme hovořili s Tomášem Petráskem z Fyziologického ústavu Akademie věd

Ptala se Jana Žďárská

? Myslíte, že je Země svými podmínkami pro život ve vesmíru ojedinělá?

Úplně ojedinělá asi ne. Vesmír je skutečně obrovský, jenom v naší Galaxii existuje zhruba tři sta miliard hvězd a minimálně stejný či vyšší počet planet. Víme, že je vesmír plný organických látek, tedy stavebních kamenů života: Vyskytují se v meteoritech, kometách, na planetách i v mezihvězdném prostoru. Nic z toho pochopitelně nedokazuje, že by mimozemšťané museli být hned „za humny“, ale jde o důvod k mírnému optimismu.

? Příběh zrodu naší planety a života přes stále vyšší formy až po člověka všichni známe. Představuje člověk vyvrcholení celého vývoje Země?

Jedná se sice o notoricky známý příběh – ale také o velký omyl. Jako lidé máme totiž velký sklon věřit, že právě my představujeme

vrchol evoluce a po nás již nic lepšího přijít nemůže. A že až nastane „poslední hodina“ Země, lidstvo tu stále ještě bude. Z pohledu existence naší planety se však nacházíme zhruba uprostřed celého toho dramatu. Konec světa je tedy nejspíš daleko před námi, pokud k němu sami nějak zásadně nepřispějeme. Planeta se přitom rozhodně nezastaví ani v jednom svém aspektu: Lidé i ostatní druhy se budou dál vyvíjet, stejně jako samotná Země a celý vesmír.

Konec lidstva

? Dokážeme předpovědět i zánik lidstva na Zemi?

Z hlediska jejího vývoje k němu s největší pravděpodobností dojde, a navíc nesmírně rychle, protože lidstvo je ze své podstaty velice nestabilní. Jednotlivé kultury se vyvíjejí, expandují nebo naopak zanikají a děje se to v řádu století, či v extrémních případech

třeba tisíciletí. Ve srovnání s tempem biologické evoluce probíhá vývoj lidstva velice rychle, o geologii ani nemluvě. Biologické druhy na Zemi obvykle existují jednotky, maximálně desítky milionů let, a to už musejí mít štěstí. Poté se přemění v druhy jiné, nebo ještě častěji zanikají...

? Pokud by tedy lidstvo nezaniklo popsáním přirozeným způsobem, jak by mohlo na Zemi skončit?

Možností existuje mnoho. Takový velkolepější osud, o němž se dočteme v každé optimistické sci-fi, představuje expanze na jiné planety. A pokud se lidem bude dařit, osídlí třeba i velkou část vesmíru.

? Může lidstvo čekat i méně optimistická varianta?

I to se může stát. Třeba pokud se transformuje způsobem, který si dnes těžko

Kdo je...

RNDr. Tomáš Petrásek, Ph.D.
(*1984)

Vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy. Od roku 2006 pracuje ve Fyziologickém ústavu Akademie věd a od roku 2014 také v Národním ústavu duševního zdraví v Klecanech. Doktorský

titul získal v tomtéž roce. Profesionálně se věnuje studiu mozku i chování a modelům duševních poruch. Vedle toho popularizuje astronomii a astrobiologii v rámci přednášek či knižní série Vzdálené světy a od roku 2015 přednáší základy astrobiologie na své alma mater. Letos také publikoval sci-fi román Azhareida.



dokážeme představit – například přejde do virtuální reality nebo ho nahradí nějaký pokročilejší vývojový stupeň, jako třeba stroje či jiné umělé bytosti. Anebo se s ním stane něco, pro co dnes ani nemáme pojmenování.

❓ A mohlo by se i vyhubit samo?

■ Máte asi na mysli nukleární apokalypsu. Její stín nad námi visí od konce druhé světové války a pochopitelně není o nic méně tíživý, i když už žádný Sovětský svaz či studená válka není. Dnešní geopolitická situace bohužel nenaznačuje, že by lidé nějak zásadně zmoudřeli. A jaderné zbraně jsou k dispozici pořád...

❓ Často se hovoří také o ekologické či klimatologické katastrofě...

Ekologická katastrofa představuje jeden z dalších možných konců světa, ať už k ní dojde naším přičiněním, nebo se na ní budeme podílet jenom v menší míře. A daly by se vymyslet ještě spousty katastrofických scénářů, které by mohly lidstvo postihnout.

❓ Měli bychom se tedy smířit s tím, že lidé nesetrvají na Zemi navždy. Dá se odhadnout, kolik času nám zbývá?

Ať už se lidstvo transformuje, nebo zanikne, za deset milionů let tady po něm nejspíš nebude ani stopa. Biologické druhy zkrátka nejsou věčné. Dalo by se namítnout, že existují určité výjimky – takzvané živé fosilie, které nevymřely a obývají na Zemi stamilionů roků beze změny. Zůstává však trochu diskutabilní, jestli je naší největší aspirací stát se živou fosilií a vývojově ustrnout. Navíc ani zmíněné druhy úplně nestagnují: Například latimérie sice připomíná rybu z druhohor,

ale rozhodně nejde o stejný biologický druh se stejným způsobem života a je jisté, že také prošla docela komplikovanou evolucí.

Stopy po civilizaci

❓ Co by tedy po nás na Zemi zbylo? ■ A jak dlouho by se dalo poznat, že tu kdysi existovala inteligentní civilizace?

Většina běžných památek by zmizela velice rychle. Stavby podlehnou erozi, kovy zkorodují a zbytek pohřbí sedimenty. Povrch Země by zas pokryla vegetace a původní přírodní společenstva, takže po několika tisících letech už bychom asi měli velké štěstí,

Biologické druhy na Zemi obvykle existují maximálně desítky milionů let. Poté se přemění v druhy jiné – a ještě častěji zanikají



kdybychom našli nějakou rozpoznatelnou stavbu či její fosilizované pozůstatky.

❓ Co by pak mohlo o lidech na planetě vydat nějaké svědectví?

Největší dopad na Zemi bude mít to, co provádíme s biosférou. Lidstvo už totiž zlikvidovalo téměř všechny velké živočišné druhy a veškeré kontinenty jsme osídlili druhy synantropními, jako jsou prase nebo kočka, které se šířily s evropskou kolonizací. Takže by se dalo říct, že tu po nás zůstane taková lehce ochuzená fauna a flóra. A popsaný efekt bude zcela jistě viditelný ještě po mnoha stamilionech let.

Chrámy Angkor v Kambodži. Stačí pár století, a příroda si začne brát to, co stvořil člověk

» fakta

UŽ PŘED MILIARDAMI LET

První život se na Zemi objevil skutečně velmi záhy: Již v nejstarších horninách nacházíme nepřímé důkazy o živých organismech. **Z doby před 3,8 miliardy let známe první mikrofosilie**, které dokládají, že už tehdy existoval hojný mikrobiální život.

? Zároveň po nás nepochybně zbudou vyčerpané nerostné zdroje...

Ano, potenciální budoucí civilizace na Zemi se budou muset vypořádat s absencí ropných ložisek a zásob uhlí. Uvedené zdroje se na planetě hromadily stovky

Planetární termostat

? Jak by mohl současný příběh života na Zemi pokračovat?

Pokud nepřijde nějaká jiná katastrofa, čeká planetu a zdejší život postupné stárnutí a zánik. Co se týká biologické diverzity, jsme dost možná již za zenitem. Diverzita, ale i rozsah biosféry se budou postupně snižovat, a nakonec nastane nevyhnutelná vývojová regrese, kdy přežijí pouze odolnější a primitivnější organismy – až se ve finále vrátíme zpátky k mikrobům, kterými evoluce na Zemi začala.

? Proč ale takový obrázek? Vždyť například víme, že Slunce čeká ještě poměrně dlouhá existence, než spotřebuje veškeré palivo a postupně se promění v bílého trpaslíka...

Po nevyhnutelné vývojové regresi přežijí pouze odolnější a primitivnější organismy, až se nakonec vrátíme k mikrobům

milionů let, my je však rychle vyčerpáváme a jejich obnova potrvá velmi dlouho – pokud na ni tedy bude ve vývoji Země ještě dostatek času.

? A jak to dopadne třeba s družicemi na oběžné dráze?

Družice na nízkých dráhách poměrně rychle shoří v atmosféře, zatímco ty, které se pohybují výš, mohou přetrvat tisíce, nebo i miliony let. Objekty umístěné mimo Zemi se stanou asi nejtrvanlivějšími doklady existence lidstva, jelikož na ně „nedosáhne“ eroze či povětrnostní vlivy. Například předměty zanechané na Měsíci a Marsu, některé satelity obíhající Zemi i jiné planety a také sondy, které opouštějí Sluneční soustavu, se budou dát asi i po milionech let stále identifikovat jako artefakty vyspělé technologické civilizace.

Pro biosféru to bohužel neplatí. Existence Země jako obyvatelné planety s kapalnou vodou na povrchu závisí na takzvaném planetárním termostatu. Zmíněný proces vyladuje intenzitu skleníkového efektu tak, aby na Zemi panovala rozumná teplota, umožňující především výskyt životodárné vody v kapalném stavu. Planetární

termostat reaguje na změny teplot a množství CO_2 v atmosféře. Když se na planetě oteplí, váže se oxid uhličitý rychleji v chemických procesech a dešť ho rychleji vymývá z atmosféry, čímž se i rychleji dostává do oceánu. Následně se urychlují také chemické a biologické reakce, které ho vážou například do uhličitanu vápenatého, a tím jej odstraňují z ovzduší.

? A jak by uvedený proces probíhal, kdyby byla na Zemi naopak zima?

Pokud by byla velká část naší planety zamrzlá a panovaly by zde velmi nízké teploty, odstraňování oxidu uhličitého z atmosféry by se zpomalilo. Zároveň by se uvolňoval zpátky do ovzduší, aby se dosáhlo rovnováhy. Dané uvolňování víceméně konstantně zajišťují sopky. Jejich činností by začala koncentrace CO_2 stoupat až do stavu, který postačuje k výskytu kapalné vody.

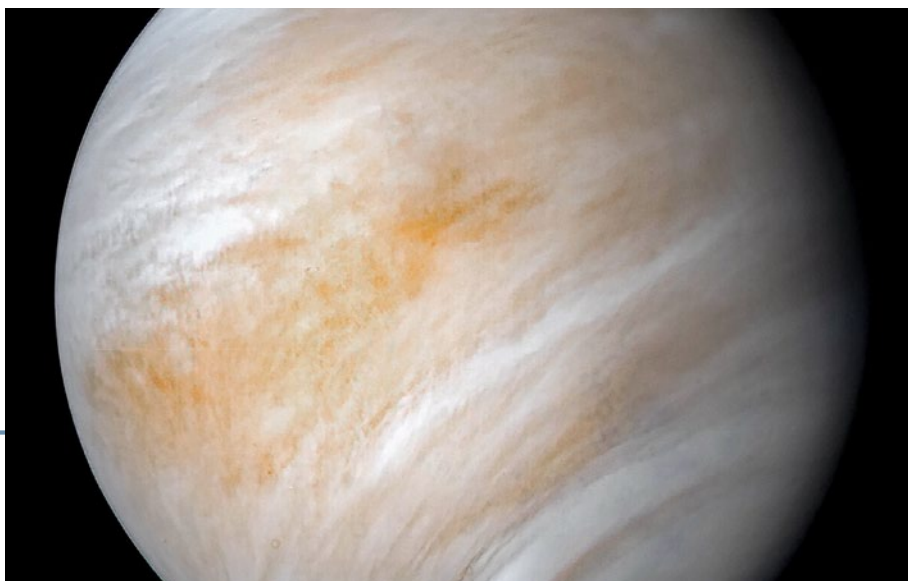
? Země by si tedy poradila sama?

Ano, vypadá to tak. Dnes se však bohužel v atmosféře nachází asi jen čtvrt procenta oxidu uhličitého, což je velice málo. Planetární termostat už tudíž nemá moc možností, jak Zemi dál chladit.

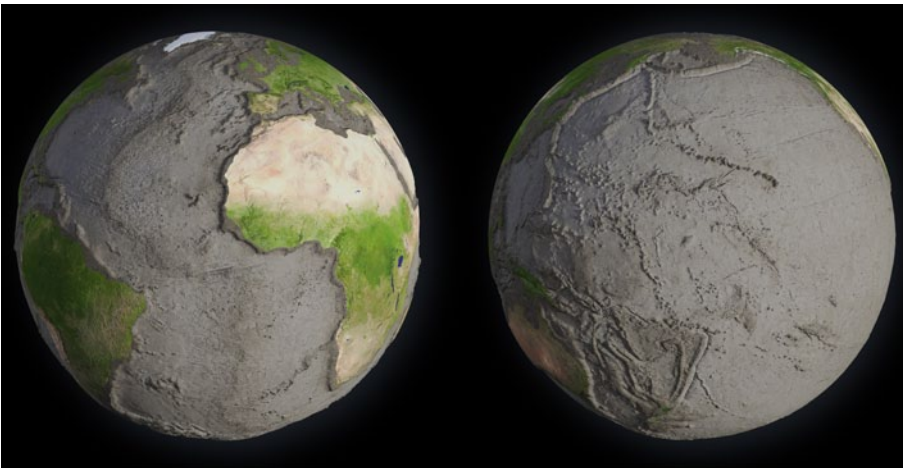
Soumrak biosféry

? Proč se existence života na Zemi váže na popsany systém a co by mohla způsobit jeho porucha?

Život potřebuje příznivé teploty, ale také dostatek oxidu uhličitého. Kdyby jeho množství na Zemi kleslo zhruba na 0,15 procenta, začala by mít problémy převážná většina rostlin. Naštěstí evoluce nespí, a protože je hladina CO_2 poměrně nízká již docela dlouho, objevila se flóra schopná



Zvýšená produkce skleníkových plynů bude mít za následek zhoustnutí atmosféry a zvýšení povrchové teploty. Zemi tak čeká stejný osud jako Venuši



uvedenému problému čelit. Označuje se jako C4 a patří sem třeba trávy nebo kukuřice. Zmíněné rostliny jsou o celý řád skromnější než ostatní a vystačí si se skutečně minimálním množstvím oxidu uhličitého – který samozřejmě pro svoji existenci potřebují. Pokud by Slunce zjasňovalo rovnoměrně a planetární termostat se choval obdobně jako v minulosti, C3 rostliny by nejspíš vymřely a po nich by převzala štafetu skupina C4: Měla by šanci se na planetě udržet asi osm set milionů let, možná miliardu, možná ještě o něco déle.

? A kdyby později vymřely i tyto rostliny?

Pak by nastal skutečný „soumrak biosféry“. Začaly by odumírat vyšší rostliny a žezlo by přebraly jejich nižší protějšky: nejprve mechy a lišejníky, a nakonec jednobuněčné řasy. Ty mají mnohem větší povrch vůči objemu, takže jsou lépe vybaveny pro získávání plynu difuzí z atmosféry, a tudíž dokážou žít i při podstatně nižší koncentraci oxidu uhličitého.

? Zřejmě by ale významně poklesla také intenzita fotosyntézy, že?

Určitě, množství vegetace by se prudce snížilo, a s tím by poklesla i tvorba kyslíku. Zmíněný prvek v atmosféře je nestabilní. Kdyby se neustále nedoplňoval, jeho množství by se chemickými reakcemi snížilo na polovinu řekněme už během deseti až patnácti milionů let, možná ještě dřív.

? Jak by Země bez kyslíku fungovala? ■ Byl by tu ještě možný život?

Pokud hladina kyslíku klesne pod únosnou mez, přestane být animální život možný, protože naprostá většina mnohobuněčných organismů na vzdušném kyslíku bytostně závisí. Ve finále by pak zmizela také ozonová vrstva. Její zánik zasadí rozhodující ránu

biosféře jako takové. Intenzivní ultrafialové záření téměř znemožní život na pevninách i v mělkém moři. Fotosyntéza tím znovu rapidně poklesne, ale zřejmě neustane zcela a některé její formy budou pokračovat.

? Co živého bude v té době ještě moct na Zemi existovat?

Poslední živočichové by mohli vypadat asi jako korzetka, která si dokáže poradit i v prostředí zcela bez kyslíku, a dokonce se rozmnožovat. Nebo bude na Zemi žít něco

podobného červům, kteří obývají okolí hlubokomořských vývěrů chudé na kyslík a snázejí velmi vysoké teploty.

Ve vlhkém skleníku

? K čemu dojde, až přestane biosféra ■ zásadně promlouvat do vývoje naší planety?

Země přejde do úplně jiného klimatického režimu, než jaký známe. Nastane období takzvaného vlhkého skleníku. Planetární termostat, a tím i oxid uhličitý vystoupí ze hry a na důležitosti začne nabývat jiná zpětná vazba s rostoucí teplotou, která bude od té chvíle kopírovat zjasňování Slunce. V atmosféře postupně převáží vodní pára, která má ovšem tu nepříjemnou vlastnost, že sama o sobě představuje skleníkový plyn. Teploty tedy zřejmě porostou výrazně rychleji, než

Jakmile se vypaří oceány, promění se někdejší modrá planeta v pouštinu

by odpovídalo jenom zjasňování Slunce, a ve finále zde budeme mít planetu s velmi hustou parní atmosférou a nesmírně vysokými teplotami na povrchu.

? Zachovají se v popsaném období ■ ještě oceány?

Ano, ale jejich teploty dosáhnou minimálně padesáti stupňů Celsia, a velmi pravděpodobně se postupně vyšplhají až na sedmdesát stupňů či ke stovce, a možná i výš. Přesnější předpověď ovšem není možná: Teplota na povrchu Země bude totiž záviset na spoustě dalších faktorů, včetně oblačnosti – tedy na tom, jak bude planeta světlá a jakým způsobem bude odrážet sluneční paprsky do kosmu.

? Jak by potom mohl vypadat ■ pozemský život?

Nepochybně vymřou eukaryota neboli životní formy založené na buňkách s pravým jádrem. Jejich teplotní limit se pohybuje okolo sedmdesáti stupňů, což planeta

Kdyby se kyslík do atmosféry neustále nedoplňoval, jeho množství by chemickými reakcemi kleslo na polovinu už za 10–15 milionů let

v uvedené fázi s největší pravděpodobností překročí. Zůstává otázkou, zda teplota na povrchu přesáhne i limit pro život bakterií a archeí, což se nedá příliš dobře odhadnout. Navíc musíme brát v úvahu, že se na Zemi budou nacházet nejrůznější prostředí.

? Myslíte tím, že by se život někde udržet mohl, jak o tom uvažujeme třeba na ledových pólech Marsu?

Kupříkladu vysokohorské oblasti poblíž pólů, kde bude teplota nižší než jinde, mohou zůstat relativně obyvatelné alespoň pro jednoduché formy života, a to třeba i za dvě miliardy let. Období vlhkého skleníku se bude od dnešní Země lišit i v dalších aspektech, přestože tu zřejmě stále bude kapalná voda. Ale planeta bude fungovat úplně jinak než dnes.

Korzetky dorůstají jen několika desetín milimetru a obývají moře, kde dokážou přežít bez přísunu kyslíku

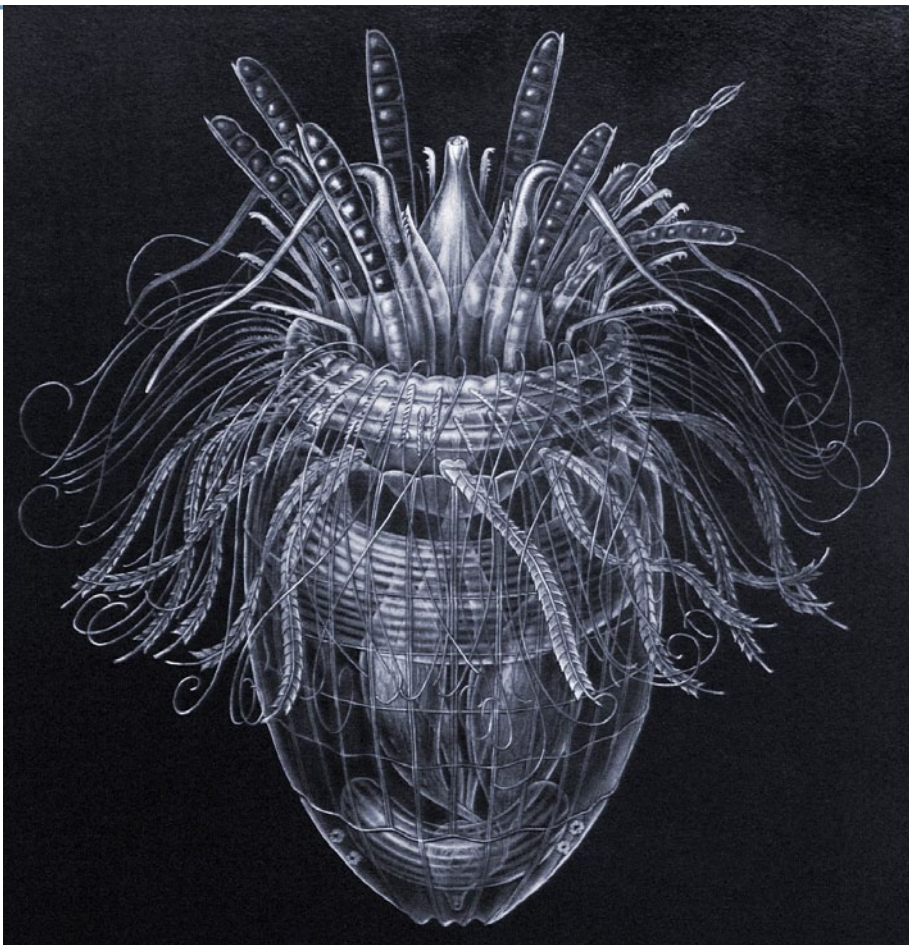
Tisíc stupňů nad nulou

? Vodní pára se začne ve velkém množství dostávat do stratosféry. Co to bude znamenat?

Způsobí tam několik ošklivých věcí. Pokud tady ještě bude nějaký náznak ozonové vrstvy, pak s ní udělá krátký proces, protože existence ozonu se s vodní párou neslučuje. Kromě toho dojde k masivní fotolyze vody jak ve stratosféře, tak na povrchu Země. Jelikož i tam bude pronikat ultrafialové záření, nastane rozklad molekul vody na vodík a kyslík. Druhý zmíněný bude poměrně rychle reagovat s různými minerály na povrchu planety, zatímco velmi lehký vodík bude unikat do kosmu.

? Ze Země tak začne mizet voda a planeta se bude vysušovat?

V období vlhkého skleníku začnou velmi rychle mizet oceány, což by mohlo nastartovat bludný kruh takzvaného překotného či pádivého skleníku. Dostatečně vysoká koncentrace vodních par v ovzduší by



V atmosféře postupně převládne vodní pára, která má ovšem tu nepříjemnou vlastnost, že sama představuje skleníkový plyn

zesílila skleníkový efekt, který by následně zvýšil teplotu na Zemi a usnadnil další odpařování. Nakonec by veškerá voda přešla do plynného skupenství a teplota by vystoupala tak vysoko, že by se uvolňoval i minerálně vázaný oxid uhličitý

a v atmosféře by se ocitla rovněž velká část pozemského uhlíku.

? Čili by se Země ještě víc oteplila?

Ano. Skončilo by to planetou s naprosto nepředstavitelnou teplotou přes

tisíc stupňů Celsia. Naštěstí by popsáný stav nevydržel dlouho, protože by se vodní pára začala z atmosféry zase ztrácet – stejně jako v období vlhkého skleníku, jenom ještě rychleji. Nakonec by se zřejmě planeta normalizovala ve stavu, který známe ze sousední Venuše s velmi hustou, ale suchou atmosférou bez vodních par, jen s oxidem uhličitým. Tak by se teplota Země zastavila přibližně na čtyřech až pěti stech stupních Celsia. A tam už žádný život možný není. ↻

K osudu Země, Sluneční soustavy a naší Galaxie se vrátíme v některém z příštích vydání Tajemství vesmíru, ve druhé části rozhovoru s Tomášem Petráskem.

Jak předpovědět budoucnost?

Další osud Země určitým způsobem předpovídat můžeme, a to na základě poznatků z astronomie a astrofyziky, částečně také z geologie, klimatologie, živé přírody a lidské společnosti. Liší se však důvěryhod-

nost takových předpovědí. Některé astrofyzikální či geologické procesy lze při zadání dobrých vstupních dat **matematicky skutečně velmi dobře namodelovat**. U vývoje naší společnosti je to daleko obtížnější.

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