



Takto by mohla vypadat kometa přilétající z Oortova oblaku, z níž se po přiblížení ke Slunci odpařuje materiál v podobě prachového a plynného ohonu

# Na předaleké mrazivé periferii

V naší soustavě se kromě Slunce, planet a měsíců nachází i množství planetek či kometárních jader. A k jejich největším zásobárnám patří Oortův oblak. Co dosud víme o obří „bublině“, jejíž obsah nemůžeme pozorovat přímo, nám prozradila evoluční bioložka Julie Nováková

Ptala se Jana Žďárská



**?** **Jste evoluční bioložka a astronomií spolu s astrobiologií se zabýváte především jako popularizátorka vědy. Co vás v dané oblasti nejvíc zajímá?**

V oboru astrobiologie mě především zajímá, jak se navzájem ovlivňují složky určující obyvatelnost planety a co bychom vůbec za obyvatelnost měli považovat. Klasická definice obyvatelné zóny – tedy oblasti kolem hvězdy, kde planeta dostává tolik záření, aby si v případě vhodné atmosféry a pevného povrchu mohla udržet povrchovou kapalnou vodu – je zjevně extrémně zjednodušená. Současně však nikdo netvrdí, že bychom měli po životě pátrat jen tam!

**?** **Jak by se tedy dala obyvatelnost planet nejlépe definovat?**

V současné době představuje výše zmiňovaná definice spíš pouhý nástroj, úmyslné zjednodušení vycházející z toho, co známe ze Země. Tím je zatím život na povrchu kamenné planety závislý na vodě, s biosférou převážně poháněnou sluneční energií. Pokud v obyvatelné zóně kolem hvězdy podobné Slunci objevíme kamennou planetu a v její atmosféře zachytíme například vodní páru, oxid uhličitý, kyslík a stopy metanu, budeme mít poměrně dobrou představu o tom, že se tam pravděpodobně nachází život, který podobně jako ten na Zemi – díky fotosyntéze – obohatil atmosféru o molekulární kyslík.

**?** **Co když ovšem na takové kamenné planetě v obyvatelné zóně zachytíme úplně jinou atmosféru – spíš redukovanou než oxidovanou – a známky „mlhy“ či „oparu“ z organiky?**

V tom případě budeme mít díky našim představám o rané Zemi a kupříkladu i díky znalosti současného Titanu alespoň rámcově tušení, zda tam existuje slušná šance na život. Koncept obyvatelné zóny nám hledání zjednodušuje, neměl by ho však omezovat. I pokud se budeme soustředit na kapalnou vodu jako jediné možné rozpouštědlo pro život a pomíneme zatím hypotetické exotičtější možnosti jako lehké uhlovodíky nebo čpavek, nemusíme ji nalézt pouze v obyvatelné zóně.

**?** **Takže se kapalná voda vyskytuje i mimo obyvatelnou zónu hvězd?**

Rozhodně ano! Dokládají to měsíce jako Europa, Ganymed, Titan či Enceladus, pod jejichž ledovou slupkou udržují

vodu v kapalném stavu jiné zdroje tepla než sluneční záření: především slapový ohřev. Samozřejmě nemáme šanci zachytit život na dálku na takových tělesech v jiných soustavách. Kapalnou vodu daleko od hřejivých paprsků cizích sluncí však pravděpodobně nalezneme rovněž na povrchu planet – pokud mají dostatečné zdroje vnitřního tepla, tedy zejména radioaktivní ohřev, případně zmíněné slapové jevy, a „skleníkovou“ atmosféru. Existují přitom i daleko účinnější skleníkové plyny než oxid uhličitý nebo metan, například molekulární vodík.

extrémně široký pojem. Z pohledu detekce života na dálku, pomocí spektroskopie, je už trochu omezenější, ale i tam přestává stačit ono účinné zjednodušení na obyvatelnou zónu.

**?** **Co všechno je pro obyvatelnost planety důležité?**

Roli hraje nejen mateřská hvězda – tedy její spektrální typ, stáří, aktivita, intenzita slunečního větru a případně další hvězdné složky soustavy – či parametry oběžné dráhy planety, ale také jiné aspekty. Důležitá

## Život nemusíme hledat jen v obyvatelných zónách. Daleko od hvězdy si může planeta snáz udržet prapůvodní vodíkovou atmosféru

**?** **Tudíž se při pátrání nemusíme zaměřovat jen na obyvatelné zóny stálic?**

Přesně tak. Daleko od hvězdy si může planeta snáz udržet prapůvodní atmosféru bohatou na vodík. A při dostatečných zdrojích vnitřního tepla – tedy zejména u kamenného tělesa většího než Země – také povrchovou kapalnou vodu a podmínky pro život, jak ho známe. Pro atmosféru takové planety byly rovněž navrženy možné biosignatury neboli látky naznačující přítomnost života. Obyvatelnost představuje

je například planetární chemie a geofyzika. Zde se objevují otázky typu: Mají superzemě větší, nebo menší šanci na deskovou tektoniku? A je opravdu pro život tak podstatná? Co když budou plášt domínovat odlišné minerály než na Zemi? Jak rychle bude planeta vyzařovat vnitřní teplo? Jaká by byla geofyzika a s ní i pravděpodobnost života u oběžnic bohatších spíš na uhlík než kyslík? Nelze opomenout ani vliv dalších členek soustavy v podobě orbitální rezonance a s ní spojeného ohřevu, zvyšování

## Kdo je...

**Mgr. Julie Nováková (\*1991)**

Je doktorandkou v oboru teoretická a evoluční biologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Dlouhodobě se zabývá rovněž astrobiologií a popularizací vědy, zejména astronomie a planetologie. Jako vedoucí jedné z popularizačních sekcí Evropského astrobiologického institutu (EAI) sestavila dvojici antologií ob-



sahujících sci-fi povídky propojené tématem astrobiologie a doplněné o popularizační články (Strangest of All, 2020; Life Beyond Us, vychází v dubnu 2023). Sama je také autorkou a překladatelkou fan-tastiky. Ve svých popularizačních článcích a přednáškách se ráda věnuje především různým aspektům obyvatelnosti planet.

**Některé měsíce Jupitera a Saturnu ukrývají pod ledovou kůrou oceán kapalné vody, jenž by mohl hostit život, přestože se nacházejí daleko za hranicí tradičně definované obyvatelné zóny**

výstřednosti dráhy planety, snižování či zvyšování šance na dopad menšího tělesa na povrch a tak dále, ani pozice v galaxii a s tím spojený třeba výskyt supernov...

**?** Existuje nějaký způsob, jak vyjmenované faktory posoudit a dobrat se odpovědí?

Nemůžeme je posuzovat samy o sobě, jelikož mnohé z nich propojuje nesmírně složitá a zajímavá síť zpětných vazeb. V příštích desetiletích čeká na zodpovězení bezpočet otázek: Mohou si planety obíhající v těsné blízkosti aktivních červených trpaslíků udržet hustou atmosféru? Mohou mít takové oběžnice, s pomalou vázanou rotací, dost silné magnetické pole? Jak častý je výskyt terestrických planet s vlastním magnetickým polem? (V naší soustavě ho mají Země, Merkur a Jupiterův měsíc Ganymed, kdysi patrně i Mars, u dávné Venuše netušíme.) Může molekulární kyslík či ozon představovat „zrádnou“ biosignaturu, prozrazující



**především v Kuiperově pásu a Oortově oblaku. Co vás na nich nejvíc zajímá?**

Především asi to, jak rozmanité objekty tam najdeme a co nám dokážou prozradit o dávné historii Sluneční soustavy. Jak velkou část oortovských těles představují objekty zachycené, pocházející původně z jiných hvězdných systémů. Nakořím rozšířené či vzácné jsou v Kuiperově pásu rezervoáry kapalné vody, která by si mohla dané skupenství udržet díky nepatrnému radiogennímu ohřevu, díky izolaci silnou ledovou slupkou a přítomnosti „nemrznoucích“ sloučenin jako čpavku

krouží. Mívají nicméně natolik dlouhé oběžné doby, že většinu své pouti stráví právě v končinách velmi vzdálených od mateřské hvězdy a jejich trajektorie bývají extrémně protáhlé.

**?** Jaké informace již o Oortově oblaku máme a jakým způsobem je vědci získali?

Z hlediska pozorovacích dat dosud víme o existenci Oortova oblaku nepřímo, a to právě z oběžných drah dlouhoperiodických a neperiodických komet, jež zavítaly do vnitřní části Sluneční soustavy. Malá a chladná tělesa vzdálená tisíce či desetitisíce astronomických jednotek současnou technikou v zásadě pozorovat nelze. Rozsah Oortova oblaku a hustotu objektů v něm tak zatím stanovují teoretické výpočty. Některé přitom udávají jeho hranici k necelé polovině světelného roku, jiné ji umísťují i za světelný rok. Různí se také odhady četnosti tamních těles...

**?** Jak oblast definoval její objevitel, nizozemský astronom Jan Hendrik Oort?

Na základě četnosti dlouhoperiodických komet známých v polovině minulého století usuzoval, že tato obálka kolem Slunce může dosahovat poloviny hmotnosti Země. Dnes se odhaduje spíše na plus minus dvacetinásobek, a nelze ani zcela vyloučit, že všechna tamní tělesa dohromady váží i stokrát víc než naše planeta, tedy víc než celý Saturn! Většinu vlastností oblaku zatím dobře neznáme a až na hrstku detekovaných objektů nám scházejí přímá pozorování. Na samotnou jeho existenci však můžeme z nepřímých důkazů usuzovat docela spolehlivě.

## O existenci Oortova oblaku dosud víme jen ze sledování trajektorií dlouhoperiodických a neperiodických komet, jež zavítaly do vnitřní Sluneční soustavy

planetu procházející spíše pádivým skleníkovým efektem než bujením života? A tak dále... Posuzování šancí na život, byť jen pozemského typu, a snaha o jeho detekci nejsou jednoduché. Zato fascinující jsou víc než dost!

**?** S možnou obyvatelností souvisí i výskyt potenciálně nebezpečných objektů v okolí planet – konkrétně asteroidů či kometárních jader. Ve Sluneční soustavě se mimo hlavní pás mezi Marsem a Jupiterem soustřeďují

a solí. A zda si lze případně i v takovém chemicky extrémním a energeticky chudém prostředí představit podmínky pro život.

**?** Jak by se dal Oortův oblak co nejsrozumitelněji definovat?

Představte si „bublínu“ sahající možná až světelný rok od Slunce, kterou velmi řídké vyplňují drobná tělesa – kometární jádra, asteroidy... Pořád se však nacházíme v oblasti s převládajícím gravitačním vlivem Slunce, kolem něhož zmíněná tělesa



## ? Jaké další podobné struktury v naší soustavě existují? A jak spolu souvisejí?

Sluneční soustava je plná malých těles! Nejznámější oblasti s jejich vyšší koncentrací představují právě hlavní pás asteroidů, Kuiperův pás a Oortův oblak. Dále jde však třeba také o kentaury, trojány, komety Jupiterovy rodiny, blízkozemní planetky... Veškerá tato tělesa tvoří pozůstatky „škátulat“, jež naše soustava prodělala krátce po svém vzniku. Formování planetárních systémů totiž není žádná úhledná záležitost.

## ? Jak se zmíněné oblasti utvořily?

Při „gravitačním tanci“ vznikajících planet v tenčícím se prachoplynném disku docházelo ke kolizím a přesunům, které popisují například model z Nice či Grand Tack model. Především pohyby obřích planet přitom zodpovídaly za pročištění jejich okolí a odvržení či „odtažení“ menších těles do vnějších oblastí soustavy. (Předpokládáme totiž, že Jupiter migroval v prachoplynném disku směrem ke Slunci, dokud ho nezadržela orbitální rezonance se Saturnem, a že Neptun doputoval naopak výrazně dál od centrální hvězdy oproti místu svého vzniku.)

## ? Jsou si uvedené struktury nějakým způsobem podobné?

Každá z oblastí nám určitě může napovědět něco trochu jiného o dějinách Sluneční soustavy. Zajímavá jsou například tělesa obíhající mezi dráhami plyných a ledových obrů, takzvaní kentauii.

Jedná se o obrovské množství planetek a komet, přičemž u nich lze často jen obtížně rozlišit mezi tím či oním označením. Původem jde patrně převážně o kuiperovské objekty. Většinou se vyskytují na dost nestabilních dráhách, jelikož při své pouti kolem Slunce kříží trajektorie obřích planet. Stěží mezi nimi najdeme tělesa relativně neporušená od počátků Sluneční soustavy, přesto reprezentují zajímavou skupinu. Patří mezi ní i poměrně velké asteroidy, například Chariklo o průměru bezmála tří set kilometrů. Některé, jako právě Chariklo či Chiron, mají prstence. Taková tělesa si většina lidí pod pojmem asteroid obvykle nepředstaví.

## Pomineme-li úplně nejmenší tělesa jako prachová zrna, tvoří Oortův oblak patrně především komety

## ? Víme něco bližšího o dvou skupinách planetek v libračních bodech $L_4$ a $L_5$ soustavy Jupiter–Slunce, tedy o takzvaných Trójanech a Řecích?

Bude je zkoumat sonda NASA nazvaná Lucy, která odstartovala v říjnu 2021 a v letech 2027 až 2028 by měla zmapovat několik Řeků i Trójánů. U jednoho z nich, Polymele, se dokonce nedávno podařilo objevit malý měsíc. Poté Lucy postupně zamíří

## » fakta

### VYTUŠENÁ ZÁSOBÁRNA

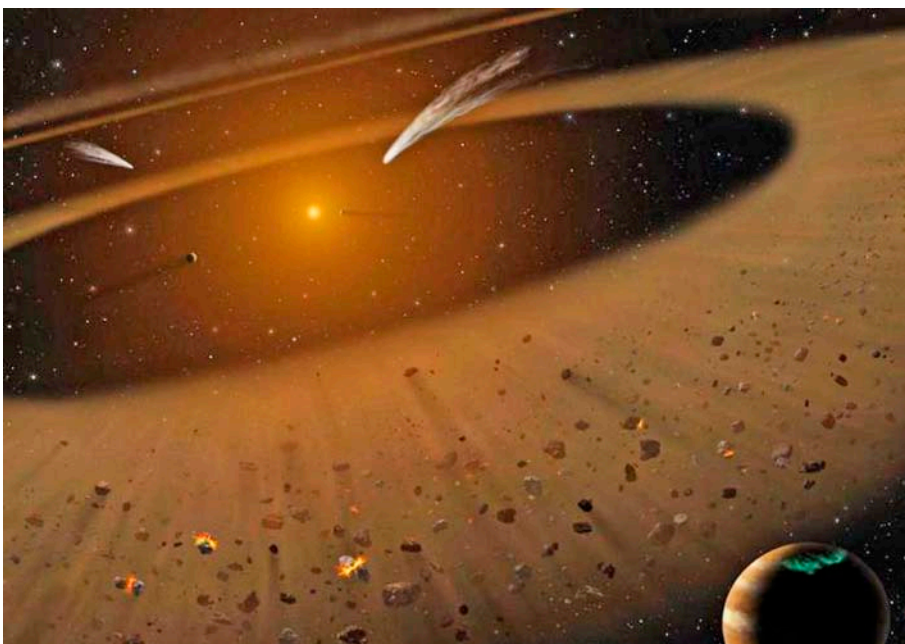
Obří sférické obálce obklopující celou Sluneční soustavu se někdy říká **těž Ďpikův–Oortův oblak**. Už v roce 1932 totiž estonský astronom **Ernst Ďpik** předpověděl, že dlouhoperiodické komety pocházejí z mračna na nejvzdálenějším okraji našeho solárního systému. Roku 1950 pak danou myšlenku oživil jeho nizozemský kolega **Jan Hendrik Oort**, jenž nezávisle vyslovil hypotézu o lokalitě původu dlouhoperiodických vlasatic.

k dalšímu průletu kolem Země a k pozdějšímu opětovnému průletu mezi Trójany, respektive Řeky. Zmíněné skupiny snad mohou zahrnovat tělesa ve velmi zachovalém stavu od dob rané Sluneční soustavy, a napovědět nám tak víc o její historii.

Náš solární systém se zkrátka doslova hemží malými objekty, které můžeme především na základě vlastností jejich drah dělit do mnoha různých skupin. Každá je něčím zajímavá a její další výzkum by znamenal přínos. Nesmíme také zapomenout, že alespoň v rámci vnitřní Sluneční soustavy už takových misí byla a je celá řada – od ICE přes Stardust až po Hajabasu nebo OSIRIS-REx.

## ? Jaké objekty tvoří Oortův oblak a odkud nejčastěji pocházejí?

Pomineme-li úplně nejmenší objekty jako prachová zrna, tvoří Oortův oblak patrně především komety. Jde o tělesa na protáhlých dráhách s dlouhou periodou, složená především z ledu – vodního, ale i pevného oxidu uhličitého a uhelnatého, metanu a jiných uhlovodíků, čpavku... Velikostně se v oblaku nacházejí pravděpodobně zejména



**Nejbližší oblast s vyšší koncentrací malých těles představuje hlavní pás planetek mezi Marsem a Jupiterem**

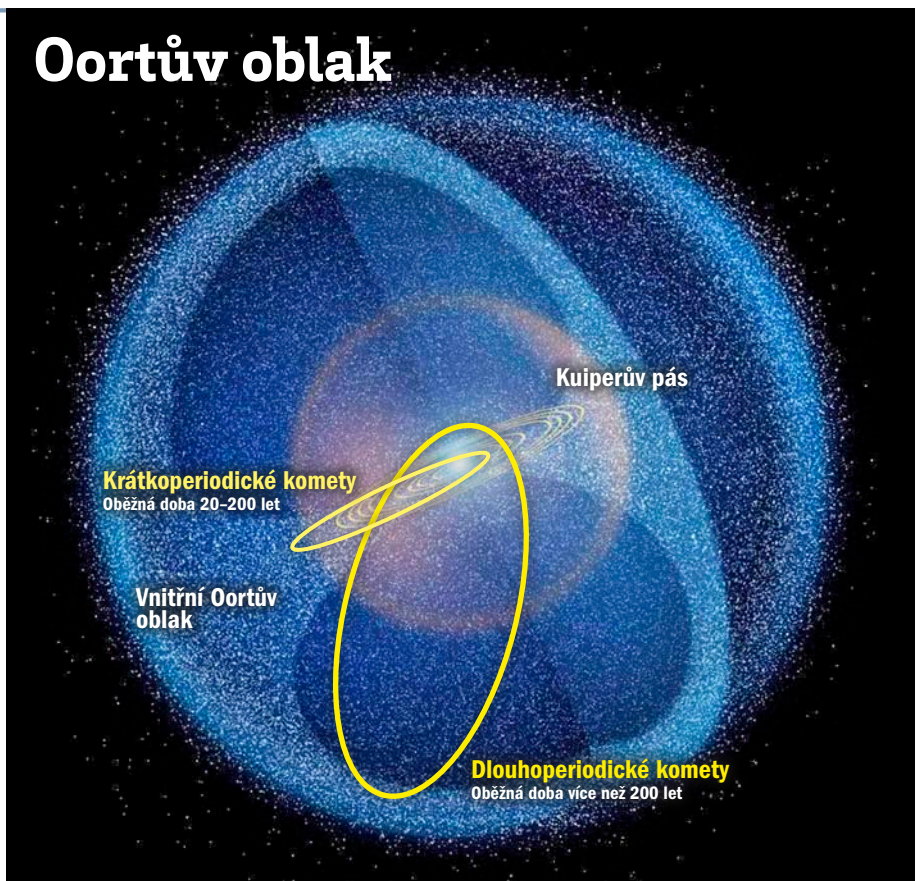
## Největší zásobárna komet tvoří gigantický Oortův oblak

drobná tělesa, výrazně vzácněji i objekty s průměrem přes sto kilometrů. Všimněte si onoho „patrně“ a „pravděpodobně“. Tělesa daleko v Oortově oblaku typicky nemůžeme pozorovat přímo.

### ? Jak o nich tedy můžeme získat tak potřebné a důležité informace?

Některá větší tělesa ve vnitřním Oortu, například Sednu, se podařilo zaznamenat a dlouhodobě sledovat (*viz Fakta*). Naše představy o dosahu oblaku a množství i vlastnostech tamních objektů vycházejí z již zmiňovaných pozorování dlouhoperiodických a neperiodických komet přiletajících do vnitřní Sluneční soustavy. Byly však navrženy i teleskopy pátrající přímo po dalších kuiperovských a oortovských tělesech. Jde třeba o teleskop Whipple, jenž by měl sledovat okultace hvězd – tedy jejich zákryty při průchodu nějakého tělesa mezi námi a zmíněnou stalicí. Může se nám zdát zvláštní hledat objekty s využitím toho, že někde dočasně nevidíme světlo,

## Oortův oblak



## Možná až devadesát procent oortovských objektů představují zachycená tělesa, jež se zformovala u jiných hvězd

místo pátrání po objektu, který světlo vyzařuje či odráží. Známa tělesa, včetně Sedny, se povedlo typicky objevit tím klasičtějším způsobem.

Co se týče rozměrů oortovských objektů, zdá se nejpravděpodobnější, že rozložení jejich velikosti lze víceméně popsat mocninnou funkcí. Zjednodušeně řečeno: Těch malých je opravdu hodně, s rostoucí velikostí jejich počet prudce klesá a velká tělesa jsou velice vzácná.

### ? Známe pravděpodobný původ popsaných pozoruhodných objektů?

Jejich původ je velmi zajímavý: V celé řadě případů půjde o zachycená tělesa, jež se zformovala u jiných hvězd! Vzpomínám si například na simulaci z pera astronoma Harolda Levisona naznačující, že by se

mohlo jednat až o devadesát procent z nich, ale i jiné práce dospěly k podobným závěrům. Kdybychom někdy mohli prozkoumat větší vzorek oortovských těles, šlo by o hotovou pokladnici materiálu z různých soustav – do značné míry jistě z hvězd vzniklých ve stejné zárodečné mlhovině jako Slunce, ale i zcela „nepříbuzných“ stalic různého stáří, složení... Takový výzkum přímo v Oortu, uchovávajícím objekty v takřka nedotčeném stavu, zatím samozřejmě zůstává ve sféře science fiction.

### ? Jakým způsobem se tělesa z Oortova oblaku dostávají do Sluneční soustavy? A jedná se o periodické objekty?

Oortův oblak se stále pokládá za součást Sluneční soustavy a jeho objekty se z ní nevymaní, pokud nepřekonají únikovou

rychlost. Některá tělesa ve vnitřním Oortu, například již zmíněná trpasličí planeta Sedna, jsou periodická. Soudě podle dosavadních pozorování a hmotnosti Sedny je její současná dráha relativně stálá. Podobná situace panuje u jiných, menších těles, třeba u Leleakühonuy. O řadě oortovských objektů však můžeme říct, že periodické nejsou, protože mají extrémně protáhlou trajektorii a drobné gravitační interakce s jinými tělesy mohou jejich dráhu průběžně měnit.

### ? Co se s nimi stane a jak se může jejich dráha proměnit, dostanou-li se blíž ke Slunci?

Mnohé z komet při přiblížení k vnitřní Sluneční soustavě „pošťouchne“ gravitace centrální hvězdy a obřích planet na otevřenou, hyperbolickou dráhu. Získají takovou rychlost, aby se vydaly z našeho systému pryč. Některé vlasatice mohou mít perihelium velmi blízko ke Slunci: Solární družice SOHO objevila stovky takových komet doslova „škrtačících“ o svou stalicí. Anglicky se jim přezdívá „sungrazers“ a většina z nich soudě podle jejich drah zřejmě představuje menší pozůstatky obřích komet, která se při prvním průchodu kolem Slunce rozpadla, načež se její fragmenty při dalších průchodech periheliem rozpadaly dál. Zmíněné vlasatice lze také považovat za





**Přímo z Oortova oblaku přiletěla také jedna z nejnáměšších komet, Hale-Bopp s průměrem jádra okolo šedesáti kilometrů. Na nočním nebi zazářila v roce 1996 a byla snadno viditelná i bez dalekohledu**

rychlosti, úhlu a místě dopadu způsobit globální problémy v podobě prachu v atmosféře a dočasných výkyvů klimatu. Těleso v řádu kilometrů by pak znamenalo závažný problém pro komplexní život. Samo o sobě jde tedy o dobrý důvod zasazovat se o důkladné celoblohové průzkumy a lepší porozumění Oortovu oblaku i Kuiperovu pásu... ☞

*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 astrono-*

oortovská tělesa: Mívají vysokou inklinaci – neobíhají tedy v rovině naší soustavy – a jejich afelia leží stovky astronomických jednotek od Slunce.

### **?** Mohou nás tělesa z těchto vzdálených konců soustavy nějak ohrozit?

Možnost dopadu kuiperovského či oortovského objektu na Zemi samozřejmě vyloučit nelze. Včasnost varování by velmi záležela na velikosti, složení a odrazivosti povrchu blížícího se tělesa a na jeho trajektorii. Objekty přilétající k nám mimo rovinu ekliptiky bychom velmi pravděpodobně zachytili později než ty v ekliptice. Čím větší, světlejší a aktivnější těleso, tím dřív bychom si ho všimli.

## **Přílet nebezpečných objektů z Oortova oblaku, a to spíš tmavších těles nejrůznějších rozměrů, můžeme očekávat takřka odkudkoliv**

Přílet potenciálně nebezpečných objektů z Oortova oblaku, a to spíš tmavších těles nejrůznějších rozměrů, můžeme očekávat takřka odkudkoliv. Objekt měřící stovky metrů by mohl v závislosti na svém složení,

*mické společnosti (ČAS), Kosmologické sekce ČAS (dříve místopředsedkyně), Astronautické sekce ČAS, porotkyně Československé astrofotografie měsíce (ČAM) a členkou Jednoty českých matematiků a fyziků*

## **Kam patří Sedna?**

Podle názoru svých objevitelů představuje **Sedna první pozorovaný oortovský objekt**, neboť její dráha sahá příliš daleko, než abychom ji mohli považovat za členku Kuiperova pásu. Zároveň se však nachází podstatně blíž, než vědci očekávají od těles Oortova oblaku, a rovina její dráhy se zásadně neliší od ekliptiky, a tedy ani od rovin, v nichž krouží objekty zmíněného pásu. Odborníci proto zavedli **kompromisní kategorii vnitřního Oortova oblaku**: Popisují ho jako plochý diskovitý útvar, jímž Kuiperův pás plynule přechází do kulovité hlavní části Oortova mračna.

**Transneptunické těleso Sedna (na ilustraci) zřejmě dosahuje až dvou třetin průměru Pluta**

