

Pluto již není planetou, z astronomie však nemizí

Vladimír Štefl, Brno

Julius Domański, Toruň

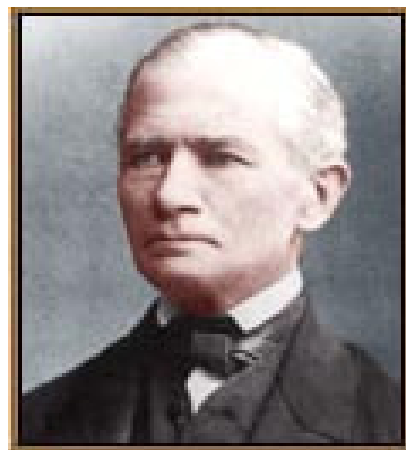
Cílem článku je vysvětlit čtenářům – žákům i učitelům, proč bylo Pluto při svém objevu v roce 1930 označeno za planetu a naopak jaké byly důvody, které na kongresu IAU v srpnu letošního roku 2006 v Praze vedly k jeho vyřazení ze seznamu planet. K pochopení změny názorů na toto kosmické těleso podáváme stručný výklad vývoje našich poznatků o Plutu. Souběžně s tím jsme do textu zařadili úlohy, neboť soustava Pluto–Charon je velmi námětově vhodná.

K objasnění důvodů původního zařazení Pluta do seznamu planet uvedeme historické souvislosti. Neptun byl obje-



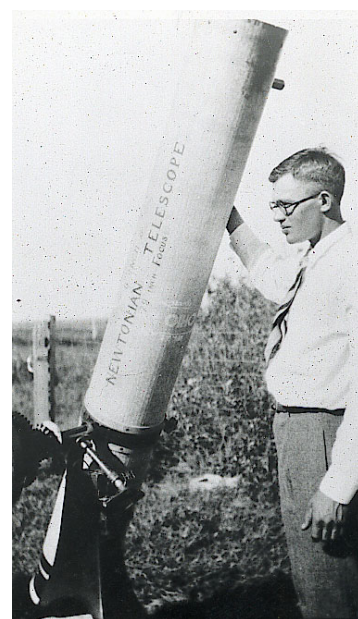
Urbain Jean Leverrier

ven německým astronomem Johannem Gottfriedem Gallem (1812 až 1910) v září 1846 na základě výpočtů dráhových elementů. Předpokládanou polohu spočítal a do Berlína Gallemu zaslal francouzský astronom a matematik Urbain Jean Leverrier (1811–1877). Nově objevený Neptun začali astronomové systematicky pozorovat, v jeho polohách zjistili mírné odchylky 2"–3" od vypočtené dráhy. To vedlo k hypotéze o existenci další planety, která na něj gravitačně působí.

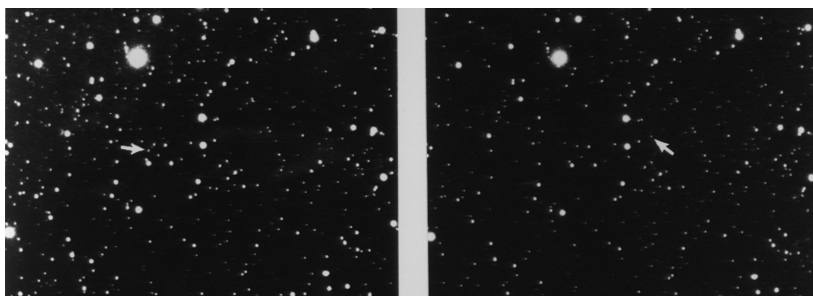


Johann Gottfried Galle

Na základě předběžných výpočtů, založených na nepřesných hodnotách hmotností Uranu a zejména Neptunu, i astrometrických chybách určování jejich poloh, objevil v únoru roku 1930 Clyde William **Tombaugh** (1906–1997) na snímcích pořízených v lednu na Lowellově observatoři ve Flagstaffu v Arizoně nové kosmické těleso sluneční soustavy poblíž hvězdy δ Gem [1], [2]. První snímek vlevo je z 23. ledna 1930, druhý z 29. ledna téhož měsíce. Šipka označuje kosmické těleso s hvězdnou velikostí 15 mag, jehož poloha se za 6 dnů vzhledem k hvězdám na pozadí změnila. Na fotografických deskách pořízených dalekohledem o průměru 33 cm byla původně zachycena hvězdná



Clyde Tombaugh

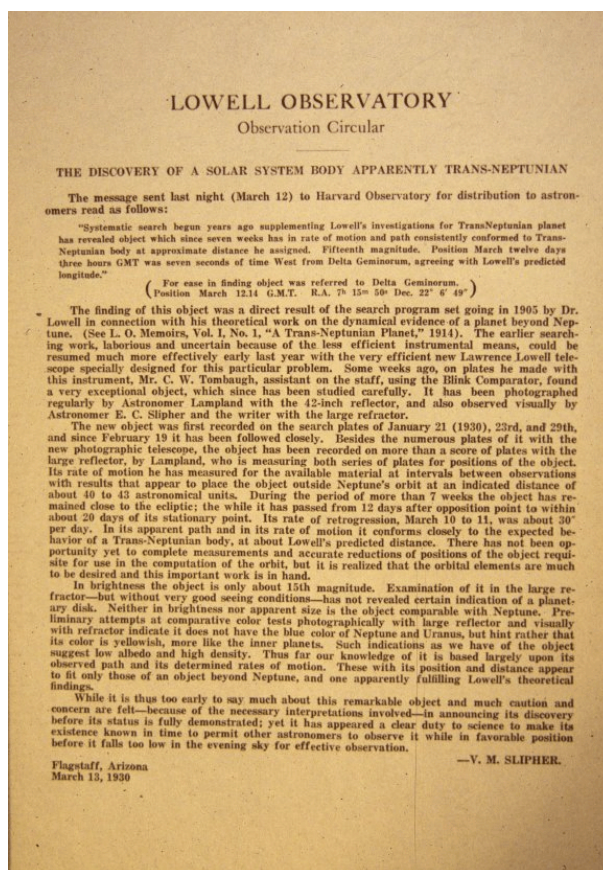


pole o velikostech $13^\circ \times 13^\circ$. Při expozičních přibližně jedné

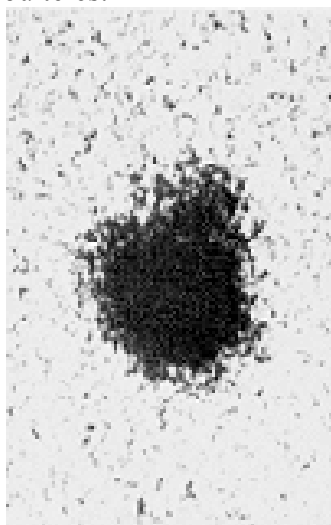
hodiny byly na deskách zobrazeny objekty s hvězdnou velikostí do 17 mag. Nalezení planety oznámil Vesto Melvin **Slipher** (1875–1969) 13. března 1930, téměř 150 roků po objevu Uranu – 13. března 1781 Williamem **Herschelem** (1732–1822).

V průběhu několika měsíců bylo kosmické těleso nazvána **Pluto**, akronym jména Percival Lowell (1855–1916), zakladatele a mecenáše hvězdárny ve Flagstaffu. Stalo se devátou planetou naší sluneční soustavy. Po objevu vypočtený odhad hmotnosti Pluta vedl k hodnotě přibližně $2 \cdot M_Z$. O případných dalších tělesech Kuiperova pásu nebylo tehdy nic známo. Proto nebyly pochybnosti o zařazení nově objeveného tělesa mezi planety.

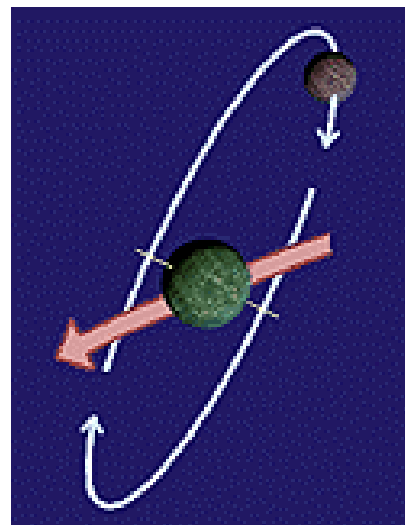
Zásadní objev pro upřesnění hmotnosti Pluta učinil v roce 1978 James Walter Christy (1938) [3] na Námořní observatoři ve Flagstaffu, shodou okolností pouze 6 km od Lowellovy observatoře. Objevil měsíc Pluta Charon, jehož oběžná doba byla shodná s rotačními periodami jak Pluta, tak Charona, jde tedy o stav vázané rotace obou těles.



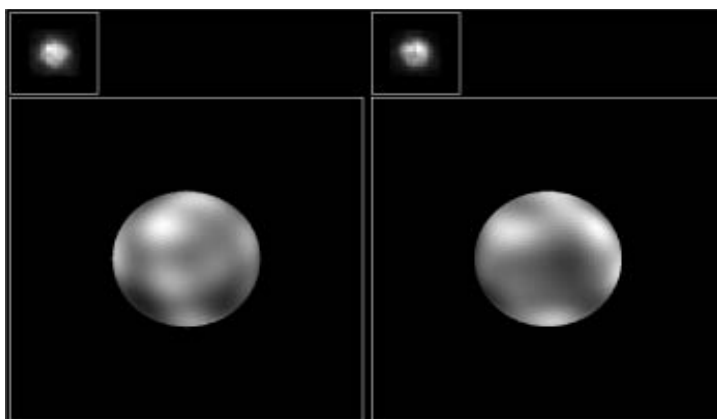
James Walter Christy



Pluto s Charonem



Fotometrická pozorování Pluta odhalila kolísání jeho jasnosti v periodě 6 dnů, 9 hodin a 18 minut, tedy 6,387 4 dne, což odpovídalo nalezené rotační periodě. Změny jasnosti vysvětlujeme výskytem světlých a tmavých oblastí na povrchu, tvořeném hlavně dusíkovým ledem.



Existenci dvou těles obíhajících kolem společného hmotného středu můžeme využít k řadě zajímavých úloh.

1. Stanovte úhlové rozlišení mezi Plutem a Charonem při jejich pozorování v opozici ze Země v perihéliu jejich dráhy s excentricitou $e = 0,25$. Velikost velké poloosy dráhy Pluta je $a = 39,5$ AU, velikost velké poloosy dráhy Charona je $d = 19600$ km. Jaký průměr dalekohledu D je nezbytný k úhlovému rozlišení obou těles na vlnové délce $\lambda = 550$ nm?

Perihéliová vzdálenost obou těles od Slunce je $r = a \cdot (1 - e) = 29,6$ AU, vzdálenost od Země je však pouze $28,6 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m} = 4,3 \cdot 10^{12} \text{ m}$. K výpočtu úhlového rozlišení dosadíme do

$$\text{vztahu } \Theta = \frac{d}{r} = \frac{19,6 \cdot 10^6 \text{ m}}{4,3 \cdot 10^{12} \text{ m}} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ rad} = 0,9'' . \text{ Toto rozlišení je dosažitelné z povrchu}$$

Země jen za výjimečných pozorovacích podmínek při kvalitním seeingu (při malém chvění atmosféry). Nezbytný minimální průměr dalekohledu nalezneme podle vztahu $D = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{\Theta} = 0,13 \text{ m}$.

Druhou možností je použití dalekohledů vynesných mimo zemskou atmosféru, např. Hubbleova kosmického dalekohledu – HST, viz snímek Pluta a Charona z roku 1994.



Objevem Charona se otevřela cesta k zpřesnění charakteristik Pluta, především jeho hmotnosti [4], což můžeme demonstrovat následující úlohou.

2. Charon obíhá kolem Pluta ve vzdálenosti $a_{\text{Ch}} = 19600$ km s oběžnou dobou $T_{\text{Ch}} = 6,39$ dne. Poloměr Pluta je $R_{\text{Pl}} = 1160$ km, Charonu $R_{\text{Ch}} = 593$ km. Za zjednodušujícího předpokladu, že obě tělesa mají stejnou hustotu, určete jejich hmotnosti.

Z III. Keplerova zákona $\frac{a_{\text{Ch}}^3}{T_{\text{Ch}}^2} = \frac{G}{4 \cdot \pi^2} \cdot (M_{\text{Pl}} + M_{\text{Ch}})$ stanovíme hmotnost soustavy Pluto–Charon

$M_{\text{Pl}} + M_{\text{Ch}} = 1,4 \cdot 10^{22} \text{ kg}$. Vzhledem k objemům těles $V \sim R^3$ dostaneme $M_{\text{Pl}} = 1,25 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, $M_{\text{Ch}} = 1,7 \cdot 10^{21} \text{ kg}$.

Poznámka: Ve skutečnosti je poměr hustot přibližně $\rho_{\text{Pl}} : \rho_{\text{Ch}} = 10 : 9$.

Kinematické představy o soustavě Pluto–Charon doplníme řešením úlohy:

3. V jaké vzdálenosti od Pluta se nachází hmotný střed soustavy Pluto–Charon? Pluto má hmotnost $M_{\text{Pl}} = 1,25 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ a Charon $M_{\text{Ch}} = 1,7 \cdot 10^{21} \text{ kg}$, vzdálenost Charonu je $a_{\text{Ch}} = 19600$ km.

Platí vztah $M_{\text{Pl}} \cdot a_{\text{Pl}} + M_{\text{Ch}} \cdot a_{\text{Ch}} = (M_{\text{Pl}} + M_{\text{Ch}}) \cdot a_c$. Zvolme souřadnou soustavu, kde $a_{\text{Pl}} = 0$, a_{Ch} je vzdálenost mezi oběma objekty, a_c je vzdálenost hmotného středu a Pluta. Řešením

dostaneme $a_c = \frac{M_{\text{Ch}} \cdot a_{\text{Ch}}}{M_{\text{Pl}} + M_{\text{Ch}}} = 2150 \text{ km}$. Hmotný střed soustavy – barycentrum – se nachází při poloměru Pluta 1 160 km přibližně 1 000 km nad povrchem Pluta.

Termodynamické podmínky na Plutu lze přiblížit následující úlohou.

4. Hodnota solární konstanty pro Zemi je ve vzdálenosti 1 AU od Slunce $S_Z = 1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Určete hodnotu solární konstanty pro Pluto, který obíhá ve střední vzdálenosti 39,5 AU od Slunce. Stanovte celkovou přijímanou zářivou energii, kterou Pluto získává od Slunce, za sekundu, jestliže poloměr Pluta je $R_{\text{Pl}} = 1160 \text{ km}$ a jeho albedo je $A = 0,15$.

Solární konstantu Pluta stanovíme pomocí vztahu $S_{\text{Pl}} = S_Z \cdot \frac{1}{39,5^2} = 0,88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Celková přijímaná energie za sekundu je $L_{\text{Pl}} = S_{\text{Pl}} \cdot \pi \cdot R_{\text{Pl}}^2 \cdot (1 - A) = 3,2 \cdot 10^{12} \text{ W}$.

5. Stanovte efektivní teplotu rovnovážného záření Pluta, známe-li jeho albedo $A = 0,15$, efektivní povrchovou teplotu Slunce $T_{\text{efS}} = 5780 \text{ K}$, poloměr Slunce $R_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$, střední vzdálenost Slunce–Pluto je $a = 39,5 \text{ AU} = 5,9 \cdot 10^{12} \text{ m}$. Jak by se změnila teplota Pluta, jestliže by se (hypoteticky) zářivý výkon Slunce zvětšil o 5 %? Předpokládejme neměnnost albeda.

Vzorec pro teplotu rovnovážného záření planety dostaneme úpravou vztahu

$$4 \cdot \pi \cdot R_{\text{Pl}}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{ef}}^4 = (1 - A) \cdot L_S \cdot \frac{R_{\text{Pl}}^2}{4 \cdot a^2} = (1 - A) \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_S^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{efS}}^4 \cdot \frac{R_{\text{Pl}}^2}{4 \cdot a^2},$$

odkud pro teplotu obdržíme $T_{\text{Pl}} = T_{\text{efS}} \cdot \sqrt{\frac{R_S}{2 \cdot a}} \cdot \sqrt[4]{1 - A} = 42,6 \text{ K}$. Vyzářená energie je úměrná T^4 , pro teploty platí

$$1,05 = \left(\frac{T'_{\text{Pl}}}{T_{\text{Pl}}} \right)^4 \Rightarrow T'_{\text{Pl}} = \sqrt[4]{1,05} \cdot T_{\text{Pl}} = 43,5 \text{ K}.$$

6. Určete hodnotu škálové výšky atmosféry Pluta, předpokládáme-li její složení z N_2 , teplotu

$$T_{\text{Pl}} = 43 \text{ K} \text{ a } g = 0,66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Škálovou výšku atmosféry získáme ze vztahu $H = \frac{k \cdot T}{g \cdot m} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 43}{0,66 \cdot 14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \text{ m} = 44 \text{ km}$.

Vzhledem ke značně excentrické dráze $e = 0,25$ Pluta kolem Slunce musíme uvažovat změnu teploty atmosféry. Nárůst teploty o zhruba 5 K má za následek změnu škálové výšky H atmosféry Pluta při přechodu z afélie k perihéliu.

Škálová výška atmosféry je dána vztahem $H = \frac{k \cdot T}{g \cdot m}$, přičemž pro teplotu rovnovážného zá-

ření Pluta platí $T \sim r^{-\frac{1}{2}}$, kde r je vzdálenost od Slunce. Aféliová a perihéliová vzdálenost jsou dány vztahy $r_a = a \cdot (1 + e)$ a $r_p = a \cdot (1 - e)$. Dosazením obdržíme $\frac{T_p}{T_a} = \sqrt{\frac{1 + e}{1 - e}} = 1,3$.

V tomto poměru se mění škálová výška atmosféry.

Změnu statutu planety komentovali i astrologové, kterým údajně nijak nevadí... Jejich přesným výpočtům vlivu Pluta na člověka nevadila v minulosti ani nepřesná znalost hodnoty hmotnosti Pluta. Nesprávnost jejich úvah lze doložit následující úlohou.

7. Astrologové tvrdí, že planety svými „astrologickými silami“ v okamžiku narození lidí ovlivňují jejich charaktery. Vypočítejte poměr hypotetických astrologických sil Pluta a Země na nově narozené dítě v okamžiku, kdy se Pluto nachází v opozici ve vzdálenosti 38,5 AU od Země.

$$\text{Určíme poměr gravitačních sil Pluta a Země } \frac{F_{\text{Pl}}}{F_{\text{Z}}} = \frac{G \cdot \frac{m_d \cdot M_{\text{Pl}}}{r_{\text{Pl}}^2}}{G \cdot \frac{m_d \cdot M_{\text{Z}}}{R_{\text{Z}}^2}} = 2,6 \cdot 10^{-15}.$$

Je zřejmé, že gravitační vliv Pluta je zcela zanedbatelný.

Přejdeme zpět k vývoji astronomických poznatků o Plutu. K „upřesnění“ poloměru na 6 000 km došlo až v roce 1950 Gerardem Peterem Kuiperem (1905–1973).

Přesné hodnoty $R_{\text{Pl}} = 1160 \text{ km}$, $R_{\text{Ch}} = 593 \text{ km}$, zjištěné při vzájemných zákrytech obou těles v roce 1985, znamenaly podstatnou revizi našich představ o velikostech těles. Na obrázku jsou zachyceny ve stejném měřítku Země, Měsíc, Pluto a Charon.



Podle současných představ [5] má Pluto v nitru kamenné jádro o poloměru 800 km, následuje vrstva o tloušťce 300 km a hustotě přibližně $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ s povrchovým pláštěm z H_2O , CO , CO_2 a CH_4 . Atmosféra sahající do výšky přibližně 3 200 km nad povrch planety je složena z N_2 , CO_2 , CO a Ne [6]. Její existence byla prokázána pozorováním zákrytu hvězd, kdy pozvolný pokles trvající několik desítek sekund signalizuje atmosféru. Tlak plynu na povrchu dosahuje 1,5 Pa.

Průzkum Pluta pokračuje i v současnosti, snímek zachycuje dva další objevené Měsíce Pluta – Nix a Hydru. Jasnější je vnější měsíc Hydra, obíhající ve vzdálenosti přibližně 65 000 km. S menší jasností je měsíc Nix, obíhá ve vzdálenosti asi 50 000 km. Jejich téměř kruhové dráhy leží ve stejné rovině s dráhou Charona.



Charakteristiky Pluta:

$$M_{\text{Pl}} = 1,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$P = 248 \text{ let}$$

$$i = 17,2^\circ$$

$$R_{\text{Pl}} = 1160 \text{ km}$$

$$A = 0,15$$

$$e = 0,248$$

$$\rho = 2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$T_{\text{Pl}} = 43 \text{ K}$$

$$a = 39,529 \text{ AU}$$

Již od objevu Pluta někteří astronomové upozorňovali, že jeho dráha má velkou excentricitu $e = 0,25$ a nezvykle velký sklon dráhové roviny k ekliptice – $i \doteq 17,2^\circ$. Rovněž průměrná hustota zjištěná po objevu Charona v roce 1978 vyvolávala pochybnosti, neboť její hodnota – $2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, spadá do intervalu mezi průměrnou hustotou planet terestrických a velkých plynných. Zřejmě Pluto s Charonem jsou pozůstatkem planetesimál, tedy původních těles, ze kterých vznikaly jednotlivé planety. Ve vnější části sluneční mlhoviny kondenzoval z ochlazujícího se plynu větší počet „ledových“ těles. Po roce 2000 byla postupně objevována transneptunická tělesa, v některých případech srovnatelná svojí velikostí s Plutem, například UB₃₁₃. Proto v poslední době zvýraznily snahy po změně statutu planety.

Bylo třeba změnit starší vymezení pojmu planeta, jenž definovalo planetu jako *těleso, jež hoř hmotnost leží mezi hmotností Pluta a patnáctinásobkem hmotnosti Jupitera – $15 \cdot M_J$* ($M_J = 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}$). Přitom obíhá těleso, které produkuje ve svém nitru energii pomocí termonukleárních reakcí.

K rozhodnutí, zda Pluto je či není planetou, bylo nově definována kategorie kosmických těles – planet. Na kongresu IAU v Praze 2006 byla přijata nová **definice pojmu planeta**. Podle ní *je planeta kosmické těleso, které obíhá okolo Slunce, má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace ustavila tvar (přibližně kulový), odpovídající hydrostatické rovnováze, nejde však o měsíc. Planeta je v prostoru natolik dominantní, že ho „vyčistí“ od ostatních těles.*

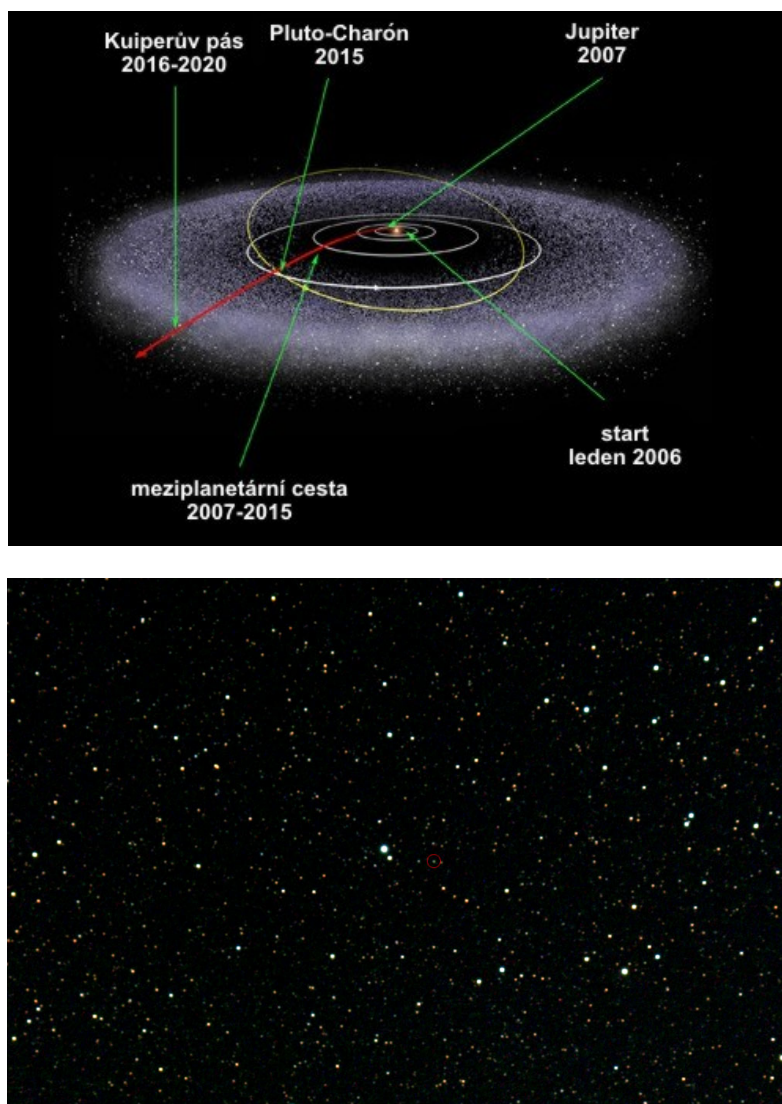
Mezi osm planet sluneční soustavy dnes patří **Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun**. Pluto bylo z tohoto seznamu vyřazeno.

Je přímo symbolické, že právě stoleté výročí narození objevitele Pluta Clyda Tombaughy – 1906 – je rokem, kdy jím objevené kosmické těleso bylo přeregistrováno z planety na trpasličí planetu, s nově přiřazeným číslem **134 340**.

Přestože Pluto zmizelo ze seznamu planet v učebnicích všech typů škol, neztratilo nic ze své tajemnosti a nesporně zůstává velmi zajímavým kosmickým tělesem, jak jsme v článku ukázali. *Můžeme souhlasit s astrologií, v které Pluto symbolizuje vynášení skrytých tajemství na povrch.*

Nejen proto byla vyslána 19. ledna 2006 kosmická sonda New Horizons o hmotnosti asi 480 kg, jejímž úkolem bude podrobné studium „z blízka“ Pluta, Charona a těles Kuiperova pásu. K Plutu s Charonem má sonda dorazit v roce 2015, což ještě umožní výzkum atmosféry Pluta, která se zvýraznila a rozvinula při průchodu perihéliem 5. září 1989. Další návrat do perihélia nastane až v roce 2 237.





Snímky Pluta můžeme získat v současnosti, viz foto z Plzně ze dne 11. srpna 2005.

Literatura:

- [1] Tombaugh C. W.: *Reminiscences of the Discovery of Pluto*. Sky and Telescope **19**, no. 5 (1960).
- [2] Grygar J.: *Pluto – podivná poslední planeta*. Čs. časopis pro fyziku **48**, č. 5 (1998) 293.
- [3] Christy J. W., Harrington R. S.: *The Satellite of Pluto*. The Astronomy Journal, vol. **83** (1978) 1005.
- [4] Olkin C. B., Wasserman L. H., Franz O. G.: *The mass ration of Charon to Pluto from Hubble Space Telescope astrometry with the fine guidance sensors*. Ikarus, vol. **164** (2003) 254.
- [5] Simonelli D. P., Reynolds R. T.: *The interiors of Pluto and Charon – Structure, composition and implications*. Geophysical Research Letters, vol. **16** (1989) 1209.
- [6] Pasachoff J. M. et al.: *The Structure of Pluto's Atmosphere from the 2002 August 21 Stellar Occultation*. The Astronomical Journal, vol. **129** (2005) 1718.