František Jáchim

Astronomický příběh Edmonda Halleye

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 80 (2005), No. 4, 33–38

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/146114

Astronomický příběh Edmonda Halleye

František Jáchim, VOŠ a SPŠ Volyně

Tento článek je o tom, jak Edmond Halley ovlivnil další rozvoj astronomie. První z problémů, jemuž byli astronomové vystaveni po objevu Keplerových zákonů a po úvaze, že hlavní síla ve sluneční soustavě má původ ve Slunci, zněl: Jaký je vztah přitažlivé síly a vzdálenosti, v níž se projevuje?

Čtverec vzdálenosti

Domněnka, že síla působící na planety má původ ve Slunci, se rodila velmi pomalu a opatrně. Jako první zaznamenáváme úvahy o možnosti silového působení Slunce na planetu ve směru spojnice obou těles roku 1660 u francouzského astronoma Bullialda, který dokázal, že III. Keplerův zákon vyžaduje ubývání centrální síly se čtvercem vzdálenosti, ale nevěděl, proč musí být dráha planety eliptická. V roce 1667 se stejná domněnka objevuje u Roberta Hooka a také u Edmonda Halleye. Dokázání její správnosti znamenalo obrovský pokrok v nebeské mechanice a vedlo nakonec I. Newtona k formulaci zákona všeobecné přitažlivosti.

První kvantitativní krok k pochopení silového působení mezi planetami a Sluncem učinil holandský fyzik Christian Huygens (1629–1695) svými poznatky o odstředivé a dostředivé síle. Z Galileiho znalostí o pohybech těles na povrchu Země vyvodil a ve své knize o kyvadle *Horologium oscillatorum* poprvé uvedl vztah pro dostředivé zrychlení $a = v^2/r$. Pokud tedy budeme nad hlavou otáčet kamenem na provázku, bude provázek napínán odstředivou silou o velikosti $F = (m \cdot v^2)/r$. Pokud se planeta pohybuje okolo Slunce, působí na ni dostředivá síla, která její dráhu neustále zakřivuje. Protože je dráha planety eliptická – se Sluncem v ohnisku, ukazovala se jako reálná domněnka, že tuto přitažlivou sílu vyvíjí Slunce a že velikost této síly klesá nepřímo úměrně druhé mocnině vzdálenosti. Usilovná cesta za převráceným čtvercem vzdálenosti začala ovšem v roce 1683 na zcela neakademické půdě – v hospodě. Nad sklenkami whisky se tam scházeli R. Hooke, E. Halley, Ch. Wren, kteří se všichni domnívali totéž: Přitažlivé síly musí ubývat se čtvercem vzdálenosti od Slunce. Nabízí to i jednoduché dosazení do Huygensova vztahu pro dostředivé zrychlení. Označíme-li oběžnou dobu planety T, její vzdálenost od Slunce r a použijeme-li III. Keplerův zákon ve tvaru $T^2 = k \cdot r^3$, dostáváme pro velikost dostředivého zrychlení vztah

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 r}{k \cdot r^3} = K \cdot \frac{1}{r^2}\,.$$

Odtud vyplývá, že i přitažlivá gravitační síla je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti planety od Slunce.

Žádný z výše jmenovaných však neuměl dokázat, že důsledkem ubývání přitažlivé síly se čtvercem vzdálenosti od Slunce je eliptická dráha planety. Na vyřešení tohoto problému vypsal dokonce Ch. Wren jakousi cenu.

Sebevědomý Hooke tvrdil, že důkaz zná, ale úmyslně ho tají. Edmond Halley důkaz neměl, ale zvolil jinou cestu; vypravil se roku 1684 do Cambridge za I. Newtonem. Na Halleyovu přímou otázku, jaký tvar bude mít dráha planety, když velikost přitažlivé síly bude ubývat se čtvercem vzdálenosti, Newton bez váhání odpověděl: „Bude to elipsa, vypočetl jsem to." Protože výpočet neměl po ruce, slíbil Halleyovi, že mu ho pošle. Sice nechvátal, ale poslal. V listopadu 1685 dostal Halley od Newtona výtisk jeho devítistránkové práce *O pohybu těles po oběžné dráze* – budoucího jádra první knihy *Principií.*

Newtonovo dílo *Philosophiae naturalis principia mathematica* vyšlo v květnu roku 1687. Vydání tohoto pro přírodovědu tak zásadního spisu se neobešlo bez problémů. Jen s malou nadsázkou můžeme říci, že nebýt Halleye, *Principia* by ve známé podobě nevyšla, určitě ne v roce 1687. Právě Edmond Halley na Newtona silně naléhal, aby dílo uzavřel, a sám se nabízel, že z něj vytvoří celek, který půjde do tisku. Ve fázi, kdy Newton stále váhal, se Halleyův přístup jevil jako klíčový – možná víc než Newton tušil.

Cesta k zákonu všeobecné gravitace, který je vrcholem celého díla, trvala Newtonovi řadu let. Ve fázi, kdy problém byl takříkajíc rozuzlen (mohlo to být přibližně v roce 1671), odradily Newtona od další práce jen chybné rozměry Země.

Dne 20. června 1686 psal Newton Halleyovi: „V jednom ze svých papírů, napsaném nevím v kterém roce, ale jsem si jist, že před veškerou korespondencí s Oldenburgem*), tj. před více než patnácti lety, jsem

*) Tehdejší sekretář *Royal Society.*

vyjádřil pro síly působící na planety nepřímou kvadratickou úměrnost vzdálenosti od Slunce a vypočítal jsem poměr zemské gravitace k odstředivé síle Měsíce, avšak ještě nedostatečně přesným způsobem.“

Newton však i před těmi patnácti lety postupoval správně a počítal přesně. Dovolím si na několika řádcích připomenout problém, který Newtona na dlouhá léta od další práce odradil. S využitím Huygensova vztahu pro dostředivé zrychlení nalezl jeho hodnotu ve vzdálenosti Měsíce

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi R/T)^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}\,,$$

kde R je vzdálenost středů Země-Měsíc a T oběžná doba Měsíce kolem Země. Když do tohoto vztahu dosadíme $R = (3{,}84 \cdot 10^8)\,\mathrm{m}$ a $T = (2{,}36 \cdot 10^6)\,\mathrm{s}$, dostáváme $a = 0{,}002\,7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Newton věděl, že Měsíc je 60krát dále od Země, než je její poloměr, proto totéž zrychlení určil také podle vztahu $a = g/60^2$. Po dosazení $g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ dostal $a = 0{,}002\,7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Protože vycházel z chybného poloměru Země a užil tudíž nesprávnou hodnotu R pro vzdálenost k Měsíci, nedospěl při výpočtu zrychlení ke stejným výsledkům, nýbrž k hodnotám lišícím se asi o 14 %, což považoval za neúnosné a svůj postup zavrhl.*) Až po létech se k problému vrátil a vyřešil jej ke své spokojenosti.

Nejen celková Newtonova nechuť k dokončení, ale i osobní spory zpožďovaly uzavření díla. Newton tvrdošíjně odmítal uznat sebemenší zásluhy R. Hooka – kdyby ho měl zmínit, dílo by nikdy nevydal. Jak víme, Newton možná převzal od Hooka inspiraci k užití myšlenky o poklesu gravitační síly se čtvercem vzdálenosti, proto by Hooke v *Principiích* za zmínku jistě stál. Planoucí nenávist se snažil tlumit právě E. Halley. V jednom ze svých dopisů Newtonovi píše: „Sire, musím Vás znovu žádat, abyste svému hněvu nedovolil natolik vzkypět, že by nás připravil o Vaši třetí knihu. Když jste již s typem písma i papírem spokojen, vynaložím všechno úsilí, abych vydání urychlil.“

Průběh sestavení celých *Principií* pod stálým nátlakem Halleyovým je tento: Roku 1684 Newton dokončuje devět přednášek *O pohybu těles*, základ budoucí první knihy *Principií.* Na podzim Halley přesvědčuje Newtona, aby dílo dokončil a vydal. Na přelomu let 1684 a 1685 vzniká další přípravná část nazvaná *Teze o pohybu*, nikdy samostatně nevydaná. Během roku 1685 Newton dokončil první knihu svého díla, na podzim roku 1686 knihu druhou. V březnu opět na Halleyovo naléhání

*) Poměrně přesný poloměr Země nalezl roku 1672 Piccard, a to asi 6 340 km.

dílo uzavírá knihou třetí. K vydání byl celý spis *Royal Society* předložen 28. dubna 1687. V květnu 1687 konečně *Principia* jako celek vychází v nákladu něco málo přes 300 výtisků.

Royal Society na vydání neměla prostředky, neboť tu byla zatím nevrácená investice do *Historie ryb*, díla téměř neprodávaného. Halley neváhal a vložil osobní finanční prostředky, aby Newtonův spis mohl roku 1687 vyjít. Předtím ještě musel krotit rozzuřeného Hooka, zavilého Newtonova nepřítele, který se domáhal citace své myšlenky o ubývání přitažlivé síly se čtvercem vzdálenosti.

Když roku 1729 vyšel první anglický překlad *Principií* (původně napsaných latinsky), doplnil Halley frontispis hymnem: „Skrytá tajemství nebes a neměnný řád věcí leží před našima očima, neboť matematika zaplašila mraky. Bystrozrakost vznešeného intelektu nám dovolila proniknout do obydlí bohů a vystoupit na výšiny nebes.“

Jedním z kritérií správnosti fyzikální teorie je, že lze podle ní jevy předvídat. Jako objekty pro takový test se nabízely komety. A zde začíná hlavní astronomický příběh Halleyův.

Kometa

Komety byly člověkem pozorovány odpradávna. Po většinu 16. století patřily stále ještě k Zemi, jazykem antické a středověké astronomie náležely do podměsíční sféry. Otázka, odkud se berou a kam prchají, nebyla kladena. Ani po tvaru dráhy se nijak nepátralo, mělo se zato, že se pohybují po přímce.

Průlom do názorů na kometární dráhy vnesl G. S. Dörfel (1643–1688). V roce 1681 vydal pojednání *Astronomische Betrachtungen* o kometě z roku 1680, ve kterém přiřkl této vlasatici parabolickou dráhu se Sluncem v ohnisku. Poznal, že kometa, která se přibližovala ke Slunci, až zanikla v jeho záři, a kometa, která byla pozorována o pár týdnů později jako vzdalující se od Slunce, byly jedno a totéž těleso. Nákresy dráhy této komety pozorované také berlínským astronomem Gottfriedem Kirchem (1639–1710) i Johnem Flamsteedem vstoupily do dějin astronomie jako tzv. Dörfelova zatáčka.

S obrázkem dráhy v blízkosti Slunce obracející se téměř do protisměru přišel jednou J. Flamsteed za I. Newtonem. Otázkou bylo, jak dráha této komety zapadne do tehdy se rodící teorie gravitace, která zatím měla mnohé skalní odpůrce. Diskuse dosud probíhaly nad vztahem čtverce vzdálenosti a eliptické dráhy. Pokud by kometa obíhala kolem Slunce trvale, měla by mít její dráha tvar elipsy. Najednou tu byla nabídnuta jiná dráha, ale ze stejného matematického soudku – také kuželosečka.

Pozorování komet nemohla dát odpověď na typ této kuželosečky. Komety byly pozorovatelné jen poblíž Slunce a z toho nebylo možné určit, zda oblouk dráhy je část elipsy, paraboly, nebo hyperboly. Kromě toho by eliptická dráha znamenala opětovný návrat. Newton, vzhledem k tomu, že nešlo o periodické úkazy, se přikláněl k drahám parabolickým.

Do roku 1680 spadá počátek Halleyova kontaktu s problematikou komet. Tehdy se na obloze objevila jedna z velmi jasných komet, kterou Halley poprvé spatřil při plavbě Lamanšským průlivem. O jejím pozorování živě diskutoval v Paříži s astronomem J. D. Cassinim. Francouz se domníval, že je to táž kometa, jako v roce 1577. Soudil, že její dráha je kruhová a prochází poblíž Země. Zdá se, že tyto závěry na Halleye zatím žádný dojem neudělaly a příliš pozornosti jim prozatím nevěnoval.

Do ohniska jeho zájmu se komety dostaly kolem roku 1698. Tehdy začal zpracovávat statistiku komet, doufaje, že přece jen něco zajímavého odhalí. Podařilo se mu shromáždit záznamy o 24 kometách z let 1337 až 1698. Dlouhými a namáhavými výpočty se snažil získat popisy drah v pozorovatelném úseku. Mezitím byla dokončena a vyšla Newtonova *Principia* a pohyb komet se mohl stát testem teorie gravitace. Když měl Halley vše pěkně přehledně srovnáno na jednom listu papíru, padly mu do oka komety z let 1531, 1607 a 1682. Byl mezi nimi interval 75, resp. 76 let. A nejen to: Shodovaly se i v dalších parametrech – sklon dráhy k ekliptice, vzdálenosti komet od Slunce v periheliu i v průsečících dráhy s rovinou ekliptiky.

„Mnoho věcí mne utvrzuje v přesvědčení, že kometa z roku 1531, kterou pozoroval Apianus, je ta samá, kterou v roce 1607 popsali Kepler a Longomontanus a kterou jsem sám viděl v roce 1682. Všechny elementy souhlasí, až na rozdíl v oběžné době. Ten není tak velký, aby se nedal vysvětlit fyzikálními příčinami. Např. pohyb Saturna je natolik rušený jinými planetami, zejména Jupiterem, že jeho oběžná doba se mění až o několik dní. O co víc musí těmto poruchám podléhat kometa, která se od Slunce vzdaluje až do čtyřnásobné vzdálenosti Saturna, a jejíž nepatrné zvýšení rychlosti může změnit dráhu z elipsy na parabolu. Totožnost těchto komet potvrzuje i to, že v roce 1456 pozorovali kometu, která prošla téměř stejně retrogonálním směrem mezi Sluncem a Zemí… Mohu tedy s důvěrou předpovídat její návrat na rok 1758.“

Již tento krátký úryvek z Halleyova spisu *Synopsis of the Astronomy of Comets* (1705) obsahuje dvě významné myšlenky. Především se tu poprvé objevuje periodicita oběhu komety – tudíž uzavřená dráha, elipsa. A potom se nabízí úvaha o výpočtu dalšího návratu komety ke Slunci. Halley věnoval problému značné početní úsilí a zjistil, že dráha komety je skutečně eliptická, a že tedy lze kometu očekávat opět v roce 1758, v době, kdy už ji Halley nespatří. Hrdě prohlásil: „Až se kometa roku 1758 vrátí, nebude spravedlivé potomstvo popírati, že tuto pravdu poprvé hlásal Angličan."

Když nastal rok 1758, vzpomněli si na Halleyovu předpověď nejen astronomové, ale i matematici. V listopadu, kdy kometa ještě vidět nebyla, předložil Francouz Alexis Claude Clairaut (1713–1765) společně s Nicole Reine Lepautovou (1723–1788) po šesti měsících práce výpočet vypovídající o zpoždění komety s tím, že kometa projde přísluním 14. dubna roku 1759. Štědrý den roku 1758 byl opravdu štědrý pro Halleyovy příznivce. Právě tento den kometu poprvé zahlédl německý sedlák J. G. Palitzsch v malé vesničce Prohlis u Drážďan. O měsíc později ji z Paříže viděl Charles Messier (1730–1817). Kometa prošla přísluním 12. března 1759. Co je to měsíční chyba v 76leté periodě! Zpětně se podařilo dohledat v historických pramenech ještě 28 návratů Haleyovy komety.

Komety dostaly rázem prozaičtější obraz. Nejsou nadpřirozené, ale jsou to obyčejná tělesa kroužící kolem Slunce a podléhající stejným zákonům jako vržený kámen nebo kroužící Měsíc.

Halleyovu kometu lze v blízkosti Země pozorovat vždy přibližně po 76 letech. Dvakrát za rok se připomene svými meteorickými roji. Jak ukázal J. Svoboda, květnové Aquaridy a říjnové Orionidy letí v její protáhlé eliptické dráze, a tím prozrazují svoji dávnou příslušnost k této kometě.

Literatura:

[1] Horský, Z., Plavec, M.: *Poznávání vesmíru.* Praha, Orbis 1962
[2] Kresák, L.: *Kometa Halley přichází* (15–35). Bratislava, Obzor 1985
[3] Nový, L., Smolka, J.: *Isaac Newton.* Praha, Orbis 1969
[4] Sagan, C.: *Komety.* Praha, Eminent 1998