

První Keplerův zákon říká, že každá planeta Sluneční soustavy se pohybuje po eliptické dráze, přičemž Slunce se nenachází v jejím středu, ale v jednom ze dvou ohnisek. Všechny planety mají poměrně nízké excentricity, od 0,007 pro Venuši po 0,206 pro Merkur. Excentricita Země je 0,017 a délka její poloosy je přibližně 150 milionů kilometrů, což se podle dlouholeté tradice nazývá astronomická jednotka a zkracuje se na AU⁴. AU je nejvhodnější jednotkou pro vyjádření velikosti oběžných drah. Například délky hlavních poloos Merkuru a Neptunu jsou 0,39 AU a 30 AU. Čísla 0,39 a 30 jsou mnohem snáze uchopitelná a pro představu Sluneční soustavy užitečnější než oběžná vzdálenost vyjádřená ve stovkách milionů kilometrů.

Kromě excentricity a délky poloosy je dalším číslem spojeným s oběžnou dráhou každé planety její *sklon* (inklinace) neboli úhel mezi rovinou oběžné dráhy dané planety a referenční rovinou, za kterou se obvykle považuje rovina oběžné dráhy Země. Podle této definice má dráha Země sklon 0°. Všechny ostatní oběžné dráhy planet mají malý sklon, v rozmezí 0,8° pro Uran až 7° pro Merkur. Lze tak říci, že Sluneční soustava je téměř plochá a všechny planety obíhají kolem Slunce stejným směrem. Také Slunce se otáčí kolem své osy ve stejném směru – jeho rovník je vůči rovině oběhu Země nakloněn pouze o 7°.

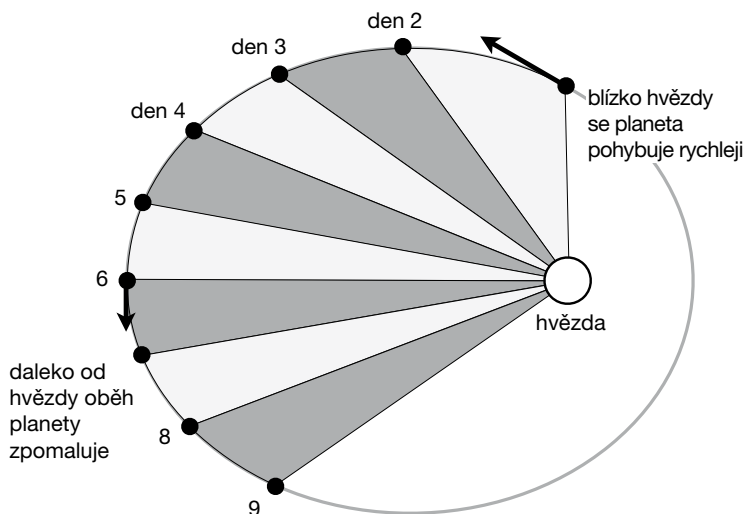
Keplerovým předchůdcům by se elipsy zdály zbytečně komplikované. Jejich tradici a intuici se zdály přirozené soustředné kružnice. Dokonce i když se údaje o planetách zpřesnily natolik, aby bylo možné určit, že dráhy nemohou být soustřednými kružnicemi, teoretici se nedokázali

⁴ Formálně je AU definována jako 149 597 870 700 metrů, což je přibližně průměrná vzdálenost Země od Slunce, nikoli délka její hlavní poloosy. Pro naše účely nejde o podstatný rozdíl, protože excentricita Země je nízká.

přimět k tomu, aby se této myšlenky vzdali. Upustili sice od myšlenky jednoduchých kružnic, ale vytvořili model, v němž se každá planeta pohybuje po kružnici, jejíž střed se sám také pohybuje po kružnici. Tyto „epicykly“ se spolu s dalšími příkrášleními myšlenky kruhového pohybu staly základem Ptolemaiova modelu Sluneční soustavy, který převládal až do Keplerových objevů.

Druhý Keplerův zákon popisuje, jak se mění rychlost planety při jejím pohybu kolem Slunce. Když je planeta blízko Slunce, pohybuje se rychleji, a když je daleko od Slunce, pohybuje se pomaleji, což je matematicky zajímavé. Představte si, že se na eliptickou dráhu planety díváte z výšky nad Sluneční soustavou. Nakreslete přímku spojující planetu a Slunce. Jak planeta obíhá kolem Slunce, spojovací čára obíhá jako minutová ručička hodin. Druhý Keplerův zákon říká, že tato spojnice „vymetá plochu“ konstantní rychlostí. Tato zvláštní věta znamená, že kdyby byla spojnice potřena barvou, která by obarvila prostor, jímž prochází, plocha natřené oblasti by se s časem rovnoměrně zvětšovala. Když je planeta blízko Slunce, spojnice je krátká, což by samo o sobě snižovalo míru vymetání plochy – ale planeta se také pohybuje *rychleji*, když je blíže Slunci, a to právě o tolik, aby se míra pokrytí plochy udržovala konstantní (obrázek 2.3.).

To se rovná tvrzení, že spojnice obíhá rychlostí, která se mění nepřímo úměrně čtverci vzdálenosti od Slunce. Například vzdálenost Země od Slunce je v lednu 0,983 AU a v červenci 1,017 AU. Druhý Keplerův zákon nám říká, že „minutová ručička“ zemské dráhy postupuje v lednu rychleji než v červenci, a to o faktor $\left(\frac{1,017}{0,983}\right)^2$, což je přibližně 1,07. To je důvod, proč oficiální délky ročních období, definované podle slunovratů a rovnodenností,



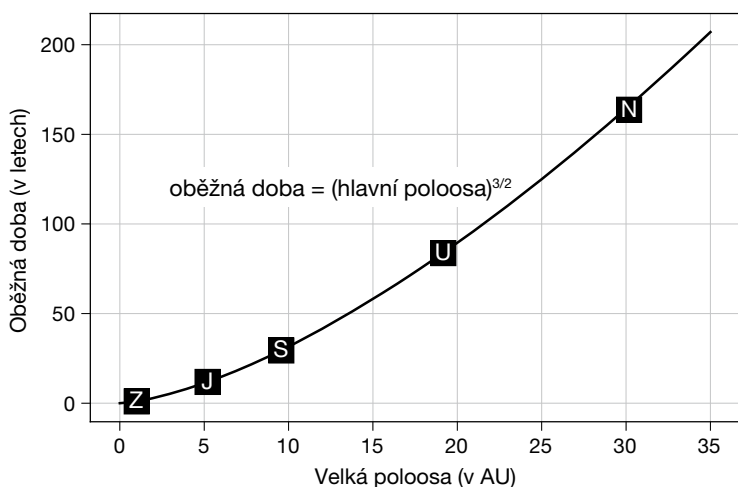
OBRÁZEK 2.3. Druhý Keplerův zákon říká, že spojnice mezi planetou a Sluncem vymetá plochu konstantní rychlostí. Na tomto diagramu fiktivní planety je každý šedý sektor plochou, kterou „vymetla“ za jeden den. Všechny sektory mají stejnou plochu.

nejsou stejné. Na severní polokouli trvá zima přibližně 89 dní a léto přibližně 94 dní, protože Země se v zimě pohybuje o něco rychleji než v létě.

Třetí Keplerův zákon se týká doby, za kterou planeta oběhne celou dráhu kolem Slunce, což je tzv. *oběžná doba* planety. Planety na širších oběžných drahách mají delší oběžnou dobu, a to dalším matematicky zajímavým způsobem (obrázek 2.4.):

$$\text{oběžná doba v letech} = (\text{poloosa v AU})^{3/2}$$

Například Jupiterova dráha má poloosu o délce 5,2 AU. Abychom vypočítali oběžnou dobu Jupiteru, umocníme



OBRÁZEK 2.4. Třetí Keplerův zákon říká, že oběžná doba planety (v letech) se rovná její poloose (v AU) umocněné $3/2$. Černé čtverečky ukazují údaje pro Zemi, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun.

číslo 5,2 hodnotou $3/2$, nebo ekvivalentně vynásobíme číslo 5,2 druhou odmocninou čísla 5,2. Za pomoci kalkulačky si můžete ověřit, že odpověď je 11,9, a skutečně, Jupiter podle pozorování urazí jeden celý oběh kolem Slunce za 11,9 roku.

Důkaz Keplerových zákonů

Odkud se Keplerovy zákony vzaly? Proč se planety poslušně drží těchto matematických vztahů? Nepomohlo by, kdybychom se zeptali Keplera. Ačkoli si zaslouží být oslavován za to, že odhalil skryté matematické zákonitosti v pohybu planet, jím navržená vysvětlení těchto