

# Relativistický efekt u exoplanet

©2021 František Lomoz

Hvězdárna Josefa Sadila v Sedlčanech, Havlíčkova 514, CZ-264 01 Sedlčany, Česká republika

## Abstrakt

Zaměření této práce je na určení hodnoty stáčení přímky apsid dráhy exoplanety obíhající kolem mateřské hvězdy. Posunutí o úhel  $\varphi = 6\pi R_g/a(1-e^2)$  je určeno pro vybrané exoplanety jako součást celkového posunutí za časové období určující  $O-C$  z pozorování. V závěru jsou výsledky  $\Sigma\varphi$  za danou epochu a pozorovaný rozdíl  $O-C$  za stejnou epochu uspořádány pro vybrané exoplanety do tabulky 2. Tyto zjištěné hodnoty mají podstatný vliv na určení změn dráhových parametrů exoplanet a tedy vliv na korekci gravitačních účinků jiných těles (planet) v soustavě hvězdy. V tabulce 3 jsou pro další vybrané exoplanety určeny hodnoty  $\Sigma\varphi$  vztažené na období 10 roků.

## Úvod

Mezi efekty patřící k řešení rovnic Obecné teorie relativity (OTR) A. Einsteina je známé stáčení přímky apsid drah těles podléhající gravitačním účinkům zpravidla hmotnějšího centrálního tělesa. Nejznámějším případem je stáčení perihelia Merkura 43“ za sto let. Dnes známe mnoho výraznějších případů spojovaných s oběhem binárních pulsarů kolem společného těžiště. V těchto případech je stáčení pericentra významné a s vysokou přesností určené z parametrů těchto soustav, které považujeme za „laboratoře“ OTR.

Podobnými soustavami, avšak s méně výraznými efekty stáčení přímky apsid jsou soustavy exoplanet s krátkými dobami oběhu planet kolem mateřských hvězd. V těchto případech doba oběhu několika dnů určuje poměrně výrazné stáčení přímky apsid. Projev tohoto stáčení v průběhu několika roků je řádově stejné velikosti jako změny dráhových parametrů vyvolaných gravitačními účinky jiných planet.

## Parametry vybraných exoplanet

Parametry jsou vybrány z Exoplanet Transit Database (ETD) <http://var2.astro/ETD> a uspořádány do tab. 1. Je vybrána hodnota periody oběhu  $P$ (d) a vzdálenost planety  $R$ (AU) od hvězdy a pomocí třetího Keplerova zákona výpočtem určena hmotnost hvězdy, centrálního tělesa. Hodnoty parametrů byly převedeny do soustavy jednotek SI.

Hmotnost centrálního tělesa (hvězdy) z třetího Keplerova zákona:

$$(1) M = \frac{4\pi^2 a^3}{GP^2}, \text{ kde } a=R \text{ vzdálenost od centra, } P \text{ doba oběhu, } G \text{ gravitační konstanta.}$$

Úhel stočení přímky apsid:

$$(2) \varphi = \frac{6\pi R_g}{a(1-e^2)}, \text{ kde } R_g \text{ je gravitační poloměr } R_g = GM/c^2 \text{ a } e \text{ je numerická výstřednost, která v případě uvedených exoplanet se zanedbatelně liší od nuly, tedy } e \approx 0.$$

V tab.1 jsou uspořádány parametry vybraných exoplanet, kde  $O$ (HJD) je heliocentrické Juliánské datum pozorování a  $Z$ (HJD) je základní heliocentrické Juliánské datum vložené do ETD jako počáteční.

V tab.2 je uvedena hodnota  $\varphi$  za jeden oběh planety vynásobena počtem oběhů  $E$ , které nastaly v období rozdílu  $Z$ (HJD) –  $O$ (HJD) z tab.1 a označena jako  $\Sigma\varphi$ . Tento údaj

v radiánech je přepočten na časový údaj ve zlomku dne jako korekce. Korekce je přičtena k měřené hodnotě  $O-C$  převzaté z ETD. Použité konkrétní hodnoty  $O-C$  jsou převzaty z <http://var2.astro.cz/tresca/transits.php?pozor=F.+Lomoz&submit=zobrazit...>

Výsledné korigované  $O-C$  by mělo být považováno za poruchu dráhy planety způsobenou jinými vlivy než relativistickým posuvem podle výrazu (2).

Pro další exoplanety z ETD jsou určeny  $\Sigma\phi/10$ roků a uspořádány v 10 listech tab.3.

Přílohy: tab.2 a tab.3.

## Závěr

Aplikace relativistického stáčení přímky apsid na oběhy exoplanet kolem mateřských hvězd s periodami oběhu řádově dnů vede k výrazné korekci pozorovaných poruch drah jejichž hlavní část je považována za poruchy způsobené gravitací dalších planet. Vzhledem k tomu, že relativistické korekce jsou stejného řádu musí být tato korekce vzata do úvahy při analýze drah exoplanet a určování parametrů ostatních těles planetární soustavy dané hvězdy.

**Tab.1**

Exoplaneta	R(AU)	P(d)	O (HJD)	Z (HJD)
HAT-P-44b	0.0507±0.0007	4.301217	59060.47098±0.00153	55696.93695±0.00024
HAT-P-9b	0.053±0.002	3.922814	59270.42157±0.00264	54417.9077±0.0003
HAT-P-76b	0.033±0.0005	1.809886	59177.41303±0.00102	56636.34112±0.00172
WASP-12b	0.02293±0.00078	1.0914222	59172.61246±0.00102 <sup>1)</sup>	54508.9761±0.0002
HAT-P-19b	0.0466±0.0008	4.008778	59160.44976±0.00153	55091.53417±0.00034
WASP-138b	0.0494±0.0007	3.634433	59147.46524±0.00163	57326.62183±0.000319
WASP-114b	0.02851±0.00039	1.5487743	59102.40412±0.00111	56667.73582±0.00021
WASP-52b	0.0272±0.0003	1.7497798	59081.52023±0.00092	56271.37174±0.0007
WASP-16b	0.02044±0.00025	0.9689951	59082.52225±0.00063	57165.85179±0.00049
WASP-80b	0.0346±0	3.0678504	59067.48749±0.00096	56855.56682±0.00041

<sup>1)</sup>Střední hodnota (59172.61701+59172.6079)/2=59172.61246 ze dvou měření téhož tranzitu.